



THESIS

**PROSEDUR PENGKAJIAN TEKNOLOGI BARU
PADA SPM (*SINGLE POINT MOORING*) MENGGUNAKAN
METODE *TECHNOLOGY QUALIFICATION***

DANU UTAMA

NRP. 4114203002

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M. Sc., Ph. D.

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN TEKNIK MATERIAL DAN PRODUKSI KELAUTAN

PROGRAM PASCASARJANA FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2016



THESIS

**NEW TECHNOLOGY ASSESSMENT PROCEDURES
IN SPM (SINGLE POINT MOORING)
USING TECHNOLOGY QUALIFICATION**

DANU UTAMA

NRP. 4114203002

SUPERVISOR

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M. Sc., Ph. D.

POSTGRADUATE PROGRAM

MARINE PRODUCTION AND MATERIAL ENGINEERING

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2016

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin. Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul *“Prosedur Pengkajian Teknologi Baru Pada SPM (Single Point Mooring) Menggunakan Metode Technology Qualification”* dengan baik. Laporan tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Magister Teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tidak lupa pula penulis mengucapkan terimakasih kepada beberapa pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian tesis ini.

1. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc, Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis serta memberikan arahan selama pengerjaan tesis.
2. Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D selaku dosen wali penulis selama menjalani program pascasarjana di Fakultas Teknologi Kelautan ITS.
3. Ibu, Bapak dan adik-adik yang sangat penulis cintai dan sayangi, terima kasih atas kasih sayang, doa dan dukungannya.
4. Dek Gaida, yang selalu memberikan dukungan dan motivasi tersendiri bagi penulis.
5. Mas Baidowi, mas Fahmy serta teman-teman pascasarjana yang selalu siap memberikan bantuan dalam pengerjaan tesis.
6. Teman-teman BRANDALZ yang penuh semangat kebersamaan.

serta semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari dalam penyelesaian tesis ini terdapat banyak kekurangan. Karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan tesis ini. Harapan penulis, semoga kelak ada usaha untuk penyempurnaan dari tesis ini sehingga dapat bermanfaat untuk memajukan dan mensejahterakan seluruh rakyat Indonesia.

Surabaya, __ Januari 2016

Danu Utama

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

“PROSEDUR PENGKAJIAN TEKNOLOGI BARU PADA SPM (*SINGLE POINT MOORING*) MENGUNAKAN METODE *TECHNOLOGY QUALIFICATION*”

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Megister Teknik (M.T.)**

**di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya**

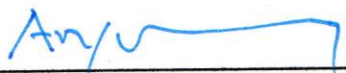
Oleh:

**Danu Utama
Nrp. 4114203002**

**Tanggal Ujian : 19 January 2016
Periode Wisuda : Maret 2016**

Disetujui Oleh:

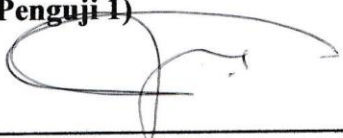
**1. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19640210 198903 1 001**


(Pembimbing)


**2. Prof. Ir. I.K.A.P. Utama, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19670406 199203 1 001**


(Penguji 1)

**3. Aries Sulisetyono, S.T., MA.Sc., Ph.D.
NIP. 19710320 199512 1 002**


(Penguji 2)

**4. Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.
NIP. 19691231 200604 1 178**


(Penguji 3)



**Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19601202 198701 1 001**

**PROSEDUR PENGKAJIAN TEKNOLOGI BARU
PADA SPM (*SINGLE POINT MOORING*)
MENGUNAKAN METODE *TECHNOLOGY QUALIFICATION***

Nama Mahasiswa : Danu Utama
NRP : 4114203002
Dosen Pembimbing : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Single Point Mooring atau SPM merupakan sarana bertambatnya kapal di laut, yang sekaligus berfungsi sebagai penyalur minyak dari atau ke kapal yang bertambat. Teknologi baru pada SPM berkembang seiring perkembangan teknologi eksplorasi minyak. Teknologi baru mengandung aspek inovatif yang belum diatur oleh standar yang ada, karena itu, tidak dapat dinilai melalui prosedur sertifikasi umum. Pengkajian perlu dilakukan untuk memastikan bahwa teknologi baru dapat diimplementasikan dengan aman dan dapat diandalkan. Proses pengkajian teknologi baru disebut *Technology Qualification* (TQ).

Prosedur pengkajian teknologi baru pada SPM dikembangkan dari *guidance* yang diterbitkan oleh DNV, LR dan ABS. Proses pengkajian dilakukan dengan metode numerik dengan bantuan beberapa software komputer. Beberapa analisa yang dilakukan yaitu analisa *motion response*, analisa *chain tension*, analisa kekuatan struktur dan analisa stabilitas lambung SPM. Analisa dilakukan terkait penerapan bentuk lambung octagonal SPM yang merupakan teknologi baru.

Aplikasi bentuk lambung octagonal SPM dapat diterima, karena telah memenuhi kriteria pengkajian teknologi yang diberikan. Dari hasil pengkajian diketahui bahwa, *tension* maksimum yang terjadi pada *chain leg* SPM adalah 157.725 ton, tidak melebihi *breaking load* dari *chain* yang digunakan. Tegangan maksimum yang terjadi pada struktur SPM adalah 205 MPa, tidak melebihi tegangan ijin dari material yang digunakan. Sedangkan berdasarkan analisa SPM memenuhi kriteria stabilitas, baik *intact stability* maupun *damage stability*.

Kata kunci: Teknologi Bbaru, SPM, *Technology Qualification*, Octagonal

**NEW TECHNOLOGY ASSESSMENT PROCEDURES
IN SPM (SINGLE POINT MOORING)
USING TECHNOLOGY QUALIFICATION**

Name : Danu Utama

NRP : 4114203002

Supervisor : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Single Point Mooring (SPM) is one of types mooring and oil transfer technology at the sea. New technology of SPM is evolving with the development of oil exploration technology. The new technology contains innovative aspects which have not been regulated by existing standards, therefore, it is can not be assessed with common certification procedure. Assessment needs to be conducted to ensure that new technologies can be implemented safely and reliable. The assessment process of new technology called Technology Qualification (TQ).

New technology qualification procedures of SPM is developed from guidance issued by DNV, LR and ABS. The qualification process carried out by numerical methods with the used of computer software. Several analyzes were performed, such as motion response, tension chain, structural strength and stability of SPM hull. The analysis were carried out related to the application of octagonal hull form SPM which is considered as new technology.

Application of octagonal shape of hull on the SPM is acceptable, because it has met the criteria established technology qualification. From the results of the study is known that the maximum tension that occurs in SPM chain leg is 157 725 tons. The tension does not exceed the breaking load of the chain that is used. The maximum stress that occurs in the SPM structure is 205 MPa, do not exceed the allowable stress of the material used. Meanwhile, based on the stability analysis, stability of the new SPM still comply the stability criteria, either intact stability and damage stability.

Key word: *New Technology, SPM, Technology Qualification, Octagonal*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat.....	4
1.6 Hipotesis.....	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	5
2.1 Single Point Mooring (SPM).....	5
2.2 Pengkajian Teknologi Baru (<i>Technology Qualification</i>)	10
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1 Diagram Alir Penelitian	13
3.2 Langkah Pengerjaan Penelitian	14
BAB 4 PROSES PENGKAJIAN TEKNOLOGI	17
4.1 <i>Technology Appraisal</i>	18
4.2 <i>Technonogy Qualification Plan</i>	22
4.3 <i>Technology Qualification Performance and Review</i>	23
BAB 5 PENGKAJIAN TEKNOLOGI PADA SPM	25
5.1 <i>Qualification Basis SPM</i>	25
5.2 <i>Technology Assessment SPM</i>	27
5.3 <i>Failure Mode and Risk Assessment</i>	31
5.4 <i>Qualification Plan</i>	33
5.5 Eksekusi <i>Qualification Plan</i> dan Pembahasan	37

5.6 <i>Compliance with Requirement</i>	63
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	69
6.1 Kesimpulan.....	69
6.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	73

DAFTAR TABEL

Tabel 1-1 Data <i>Single Point Mooring</i>	2
Tabel 4-1 <i>Technology Categorization</i> DNV	20
Tabel 4-2 Model kegagalan dan kategori frekuensi	21
Tabel 4-3 Tingkat keparahan konsekuensi model kegagalan.....	22
Tabel 5-1 Ukuran utama SPM OCTA 03.....	27
Tabel 5-2 Novel Concept Checklist of Octagonal Hull SPM	27
Tabel 5-3 Komposisi teknologi pada SPM OCTA 03	30
Tabel 5-4 Failure mode, effect and critical analysis.....	32
Tabel 5-5 <i>Aceptance criteria</i> analisa <i>anchor leg tension</i>	35
Tabel 5-6 <i>Aceptance criteria</i> analisa struktur SPM.....	36
Tabel 5-7 Data lingkungan laut	43
Tabel 5-8 <i>Load Cases</i> Analisa <i>Chain Tension</i> kondisi cuaca ekstrim.....	44
Tabel 5-9 <i>Tension</i> pada kondisi ekstrim <i>load case</i> A.1. dan A.2.....	47
Tabel 5-10 <i>Tension</i> pada kondisi ekstrim <i>load case</i> B.1. dan B.2.	47
Tabel 5-11 Data kapal Tanker	48
Tabel 5-12 <i>Load case</i> analisa <i>chain tension</i> pada SPM kondisi operasional.....	49
Tabel 5-13 <i>Tension</i> pada kondisi operasional <i>load case</i> A.1.1.1 dan A.1.1.2.	51
Tabel 5-14 <i>Tension</i> pada kondisi operasional <i>load case</i> A.1.2.1 dan A.1.2.2.	52
Tabel 5-15 <i>Tension</i> pada kondisi operasional <i>load case</i> A.2.1.1 dan A.2.1.2.	52
Tabel 5-16 <i>Tension</i> pada kondisi operasional <i>load case</i> A.2.2.1 dan A.2.2.2.	52
Tabel 5-17 <i>Tension</i> pada kondisi operasional <i>load case</i> B.1.1.1 dan B.1.1.2.....	53
Tabel 5-18 <i>Tension</i> pada kondisi operasional <i>load case</i> B.1.2.1 dan B.1.2.2.....	53
Tabel 5-19 <i>Tension</i> pada kondisi operasional <i>load case</i> B.2.1.1 dan B.2.1.2.....	53
Tabel 5-20 <i>Tension</i> pada kondisi operasional <i>load case</i> B.2.2.1 dan B.2.2.2.....	54
Tabel 5-21 Besar beban yang bekerja pada SPM OCTA 03.....	56
Tabel 5-22 Tegangan maksimum pada konstruksi SPM OCTA 03	57
Tabel 5-23 <i>Load case</i> lambung SPM pada kondisi utuh	60
Tabel 5-24 Data SPM dalam kondisi setimbang (<i>intact</i>).....	61
Tabel 5-25 <i>Load case</i> lambung SPM pada kondisi bocor	62

Tabel 5-26 Data SPM dalam kondisi setimbang (<i>damage</i>)	63
Tabel 5-27 Pemenuhan <i>tension</i> maksimum <i>chain leg</i>	64
Tabel 5-28 Pemenuhan tegangan ijin (<i>Axial Bending Stress</i>).....	64
Tabel 5-29 Pemenuhan tegangan ijin (<i>Shear Stress</i>).....	65
Tabel 5-30 <i>Righting moment</i> dan <i>Overturning moment</i>	66
Tabel 5-31 Pemenuhan kriteria stabilitas lambung SPM.....	67

DAFTAR LAMPIRAN

- A. Lampiran Analisa *Motion Response*
 - 1. Response Amplitude Operator (RAO) SPM (studi kasus SPM OCTA 03)
 - 2. Tabel Offset Lambung Tanker (Studi kasus Tanker 125.000 DWT)
 - 3. RAO Tanker 125.000 DWT Kondisi Full Load & Kondisi Ballast Load
- B. Lampiran Analisa *Chain Leg Tension*
 - 1. *Time History* dari *Chain Tension*
- C. Lampiran Analisa Struktur Lambung SPM
 - 1. Distribusi Tegangan Pada Konstruksi Lambung SPM
- D. Lampiran Analisa Stabilitas Lambung SPM (studi kasus SPM OCTA 03)
 - 1. Analisa stabilitas utuh (*Intact Stability*)
 - 2. Analisa stabilitas bocor (*Damage Stability*)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1 Catenary Anchor Leg Mooring (CALM)	2
Gambar 2-1 <i>Turret mooring</i>	6
Gambar 2-2 <i>Catenary anchor leg mooring (CALM)</i>	6
Gambar 2-3 <i>Single Point Mooring Tower (SPMT)</i>	7
Gambar 2-4 <i>Single Anchor Leg Mooring (SALM)</i>	8
Gambar 2-5 <i>Vertical Anchor Leg Mooring (VALM)</i>	8
Gambar 2-6 Evolusi sebuah konsep teknologi baru	11
Gambar 2-7 Proses persetujuan teknologi baru.....	12
Gambar 2-8 (1) Model TQ LR, (2) Model TQ DNV.....	12
Gambar 3-1 Diagram alir pengerjaan tesis.....	13
Gambar 4-1 Prosedur pengkajian teknologi SPM	17
Gambar 4-2 Matriks risiko dari beberapa model kegagalan	22
Gambar 5-1 SPM pada kondisi operasional di laut	25
Gambar 5-2 Desain SPM OCTA 03	26
Gambar 5-3 Rangkuman analisa risiko SPM OCTA 03.....	31
Gambar 5-4 Rencana pengkajian SPM OCTA 03.....	33
Gambar 5-5 Model lambung SPM pada ANSYS Aqwa.....	38
Gambar 5-6 RAO <i>Surge motion</i>	39
Gambar 5-7 RAO <i>Sway motion</i>	39
Gambar 5-8 RAO <i>Heave motion</i>	39
Gambar 5-9 RAO <i>Roll motion</i>	40
Gambar 5-10 RAO <i>Pitch motion</i>	40
Gambar 5-11 RAO <i>Yaw motion</i>	40
Gambar 5-12. Perbandingan RAO gerakan translasi (Octagonal vs Silinder).....	41
Gambar 5-13 Perbandingan RAO gerakan rotasi (Octagonal vs Silinder)	42
Gambar 5-14 Komparasi RAO gerakan heave	42
Gambar 5-15 Mooring Layout SPM OCTA 03.....	44
Gambar 5-16 <i>Load case</i> kondisi ekstrim A.1.....	45
Gambar 5-17 <i>Load case</i> kondisi ekstrim A.2.....	45

Gambar 5-18 <i>Load case</i> kondisi ekstrim B.1	45
Gambar 5-19 <i>Load case</i> kondisi ekstrim B.2	46
Gambar 5-20 Tampilan <i>tool Orcaflex</i>	46
Gambar 5-21 Body plan tanker 125.000 DWT	49
Gambar 5-22 <i>Load case</i> ‘Colinier’ (wave, current & wind direction to 180°).....	50
Gambar 5-23 <i>Load case</i> ‘Colinier’ (wave, current & wind direction to 157.5°) ..	50
Gambar 5-24 <i>Load case</i> ‘Non Colinier’ (wave, current direction to 180° & wind direction to 157.5°)	50
Gambar 5-25 Analisa <i>chain tension</i> SPM kondisi operasional.....	51
Gambar 5-26 Model konstruksi lambung SPM OCTA 03	55
Gambar 5-27 Hasil <i>meshing (element)</i> struktur SPM.....	56
Gambar 5-28 Beban yang bekerja pada struktur SPM OCTA 03	57
Gambar 5-29 Distribusi tegangan pada struktur lambung	58
Gambar 5-30 Detail <i>stress</i> maksimum pada konstruksi lambung SPM	58
Gambar 5-31 Model lambung SPM untuk analisa stabilitas.....	59
Gambar 5-32 <i>Intact stability curve</i>	61
Gambar 5-33 Letak kompartemen bocor pada SPM	62
Gambar 5-34 <i>Damage stability curve</i>	63
Gambar 5-35 Kurva <i>Righting moment</i> dan <i>Overtuning moment</i>	66

BAB 1

PENDAHULUAN

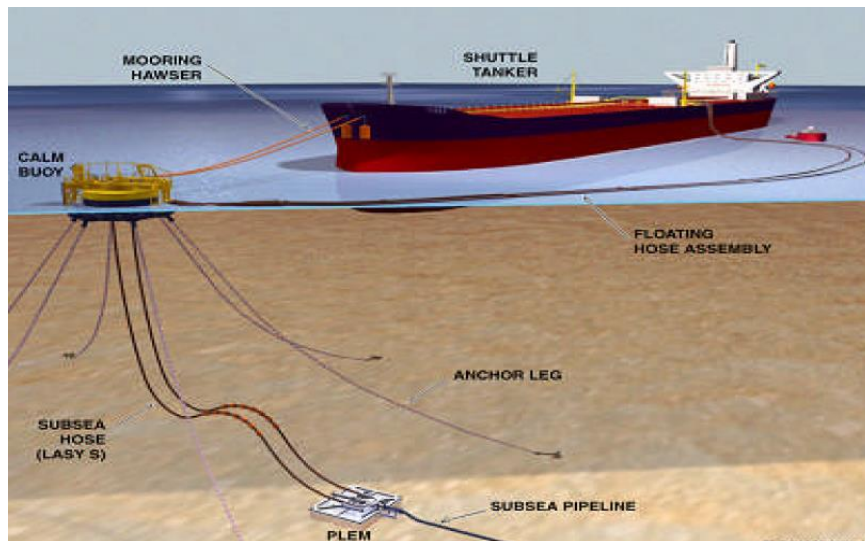
1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber cadangan minyak dan gas bumi. Terbukti cadangan minyak Indonesia per akhir tahun 2013 berada pada posisi 3,46 miliar barel. Sementara menurut statistik energi dunia yang dipublikasikan oleh perusahaan minyak dunia BP, cadangan minyak terbukti kita adalah sekitar 3,7 miliar barel. Dengan cadangan sebesar ini, publikasi tersebut menempatkan Indonesia pada urutan ke 28 negara-negara penghasil minyak (Kompas.com, 2014). Hal tersebut menyebabkan banyaknya perusahaan minyak dan gas di Indonesia yang yang menggali kekayaan alam Indonesia tersebut.

Proses eksplorasi dan eksploitasi untuk memperoleh cadangan minyak tentunya membutuhkan infrastruktur yang baik guna memperoleh hasil yang maksimal. Teknologi eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan minyak dan gas. Salah satunya adalah dengan penggunaan *Single Point Mooring* atau SPM. SPM merupakan sarana tambat yang terpadu dengan sistem penyaluran minyak dimana kapal tanker harus bertambat dan melakukan bongkar muat minyak melalui rangkaian *hose* dan jalur pipa bawah laut (Kusumawardhani, 2011).

Beberapa tipe SPM berdasarkan API RP 2 SK, 2006, adalah *turret*, *Catenary Anchor Leg Mooring* (CALM), *Single Anchor Leg Mooring* (SALM), *Vertical Anchor Leg Mooring* (VALM), dan *Single Point Mooring Tower* (SPMT). Namun, jenis SPM yang paling banyak digunakan adalah jenis *Catenary Anchor Leg Mooring* (CALM).

Sistem CALM buoy ini tersusun dari sebuah *large buoy* didukung oleh beberapa *catenary chain leg* yang tertambat pada dasar laut. Konfigurasi dari CALM buoy ini terdapat *hawser* yang menghubungkan antara kapal tanker dan *buoy*. Selain itu, terdapat konfigurasi *riser* yang berada dibawah dari *buoy* tersebut. Dalam sistem kerjanya, CALM buoy dengan *riser*-nya menyalurkan minyak dari atau ke kapal tanker yang ditambatkan melalui *floating hoses*.



Gambar 1-1 Catenary Anchor Leg Mooring (CALM)

(sumber: <http://nom.nb.no/eng/The-Field/Oil-and-gas-transport/Loading-buoys-various-solutions>)

Perkembangan teknologi eksplorasi minyak, memunculkan berbagai penemuan baru termasuk inovasi dalam pembangunan SPM. Sebuah perusahaan swasta yang bergerak dalam bidang perminyakan memberikan inovasinya dalam pembangunan SPM OCTA 03. SPM OCTA 03 dijadikan studi kasus dalam penelitian ini, karena dalam pembangunannya, perlu dilakukan pengkajian terkait teknologi yang digunakan, yang diindikasikan merupakan teknologi baru yang belum pernah diterapkan pada SPM. Informasi utama mengenai SPM OCTA 03 tertera dalam tabel berikut.

Tabel 1-1 Data Single Point Mooring

Description	Unit	Quantity
Shell outer diameter	Meter	14
Shell inner diameter	Meter	3.65
Buoy Height	Meter	5.5
Number of compartement	-	8
Buoy Weight	Tones	274.15
Buoy installed draft	Meter	3.2
Type of SPM	-	CALM

Sumber: PT. Adidaya Energy Mandiri

Dalam pembuatan sebuah produk *engineering*, harus dapat dipastikan bahwa produk itu nantinya aman untuk digunakan. Apabila teknologi yang digunakan merupakan teknologi lama, maka dalam pembuatannya harus mengacu

pada peraturan, standart, ataupun regulasi yang sudah ada. Namun apabila produk tersebut merupakan teknologi baru, dimana belum ada peraturan, standart ataupun regulasi yang berlaku, untuk penerapan teknologi ini perlu dilakukan pengkajian. Pengkajian yang dilakukan ini dikenal dengan istilah *Technology Qualification*.

Technology Qualification merupakan sebuah metode dalam mengkaji teknologi baru yang telah diatur oleh badan klasifikasi yang berwenang. Beberapa badan klasifikasi seperti *American Buerau of Shipping* (ABS), DNV GL, *Lloyd Register* (LR) mengeluarkan panduan (*guidance*) mengenai prosedur *Technology Qualification*, dimana penerapannya disesuaikan dengan teknologi baru yang dikaji.

1.2 Rumusan Masalah

Dari beberapa hal yang melatarbelakangi penelitian ini, dapat dirumuskan permasalahan yang akan diangkat, yaitu:

1. Bagaimana rumusan metodologi dalam pengkajian teknologi baru berdasarkan metode *Technology Qualification*?
2. Mengenai pengkajian teknologi baru pada studi kasus SPM OCTA 03:
 - ✓ Bagaimana prosedur pengkajian teknologi baru pada SPM (*Single Piont Mooring*)?
 - ✓ Bagian apa dari SPM OCTA 03 yang tergolong dalam teknologi baru?
 - ✓ Apakah teknologi baru SPM OCTA 03 dapat memenuhi persyaratan yang berlaku?
 - ✓ Bagaimana tingkat risiko penerapan teknologi baru pada SPM OCTA 03?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian yang dilakukan, terdapat beberapa hal yang menjadi batasan dari masalah yang diangkat, yaitu:

1. Teknologi baru yang akan dikaji hanya pada studi kasus SPM OCTA 03, beserta desain basis dan spesifikasinya.
2. Penilaian risiko sebatas penilaian kualitatif dan hanya untuk identifikasi bahaya terkait penerapan teknologi baru pada SPM OCTA 03.
3. Analisa struktur SPM OCTA 03 dilakukan dengan penerapan pembebanan statis.

1.4 Tujuan

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Membuat prosedur dalam pengkajian teknologi baru berdasarkan metode *Technology Qualification*.
2. Membuat prosedur pengkajian teknologi baru pada SPM (*Single Piont Mooring*).
3. Menggunakan prosedur yang telah dibuat untuk mengkaji teknologi baru SPM OCTA 03, yaitu:
 - ✓ Membuat penguraian dari sitem (*System decomposition*)
 - ✓ Membuat penilaian terhadap teknologi baru (*Technology Assessment*)
 - ✓ Membuat analisa *Qualitatif Risk* penerapan teknologi baru (*Risk Assessment*)

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh setelah penelitian ini dapat diselesaikan adalah mengetahui prosedur dalam pengkajian teknologi baru yang akan diterapkan dalam pembangunan SPM. Kemudian beberapa peraturan yang digunakan sebagai acuan pun dapat dimengerti. Tingkat risiko yang ada dapat dijadikan masukan pada perusahaan terkait guna mengurangi kerugian yang mungkin terjadi.

1.6 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah “prosedur yang dihasilkan dari penelitian ini menjadi metodologi alternatif untuk menyelesaikan permasalahan teknologi baru yang belum diatur dalam *rule* atau *code*”.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Single Point Mooring (SPM)

Sejak ditemukannya ladang minyak besar di tempat terpencil dimana tidak ada pelabuhan alami untuk fasilitas bertambatnya kapal tanker yang melakukan bongkar-muat, kebutuhan memaksa untuk menciptakan tempat tambat buatan. Kebutuhan ini diiringi dengan berkembangnya ukuran kapal tanker akibat bertambahnya kebutuhan minyak dunia dan juga biaya pembangunan pelabuhan semakin mahal. Sementara itu dibutuhkan terminal tambat di area pengeboran minyak. Berbagai tipe terminal dipertimbangkan dan dibangun, tetapi dipandang dari fleksibilitas, reabilitas dan segi ekonomis *single point mooring* atau SPM ditetapkan sebagai jenis yang paling bagus untuk menyalurkan minyak dari ladang pengeboran ke kapal tanker.

Single point mooring (SPM) adalah *loading buoy* yang berlabuh di lepas pantai, yang berfungsi sebagai titik tambat dan interkoneksi untuk tanker dalam proses *loading* dan *unloading* gas atau produk cair (Suryana, 2015). SPM adalah hubungan antara *subsea manifold geostatic* koneksi dan *weathervaning* tanker. Salah satu kelebihan SPM, mampu menangani kapal ukuran apapun, bahkan kapal pengangkut minyak yang sangat besar sekalipun seperti *very large crude carrier* (VLCC) dimana tidak ada fasilitas alternatif yang tersedia.

Beberapa variasi faktor yang mempengaruhi perkembangan *single point mooring* atau SPM (Maari, 1995) adalah:

- i) Desain
- ii) Komponen
- iii) Konstruksi
- iv) Instalasi
- v) Operasional
- vi) Perawatan
- vii) Pertimbangan ekonomi

2.1.1 Jenis SPM

Dalam perkembangannya SPM bervariasi dalam beberapa tipe. Beberapa tipe SPM (Maari, 1995), adalah *turret*, *Catenary Anchor Leg Mooring* (CALM), *Single Anchor Leg Mooring* (SALM), *Vertical Anchor Leg Mooring* (VALM), dan *Single Point Mooring Tower* (SPMT).

a) *Turret mooring*

Turret mooring system adalah kapal dihubungkan dengan *turret* sehingga dengan adanya *bearing* memungkinkan kapal untuk berputar mengikuti arus dan gelombang yang terjadi.



Gambar 2-1 *Turret mooring*

b) *Catenary anchor leg mooring* (CALM)

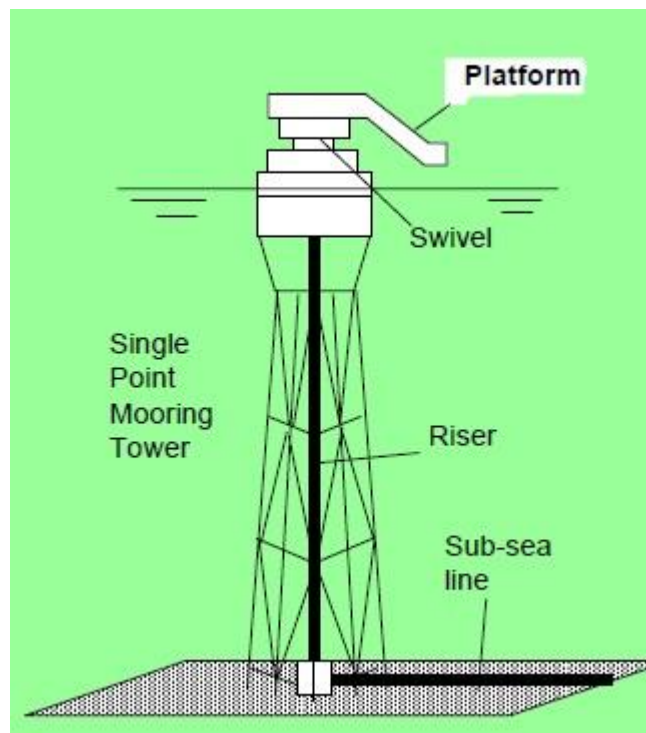


Gambar 2-2 *Catenary anchor leg mooring* (CALM)

CALM pada dasarnya terdiri dari sebuah *buoy* terapung yang diikatkan ke dasar laut menggunakan beberapa kaki rantai yang berderet secara radial dimana kapal ditambatkan pada badan *buoy* dengan satu atau lebih tali sintetis. Produk minyak dialirkan dari pipa bawah laut melalui *flexibel riser* menuju ke SPM. Dari SPM disalurkan melalui *floating hoses* menuju kapal tanker, atau sebaliknya.

c) *Single Point Mooring Tower (SPMT)*

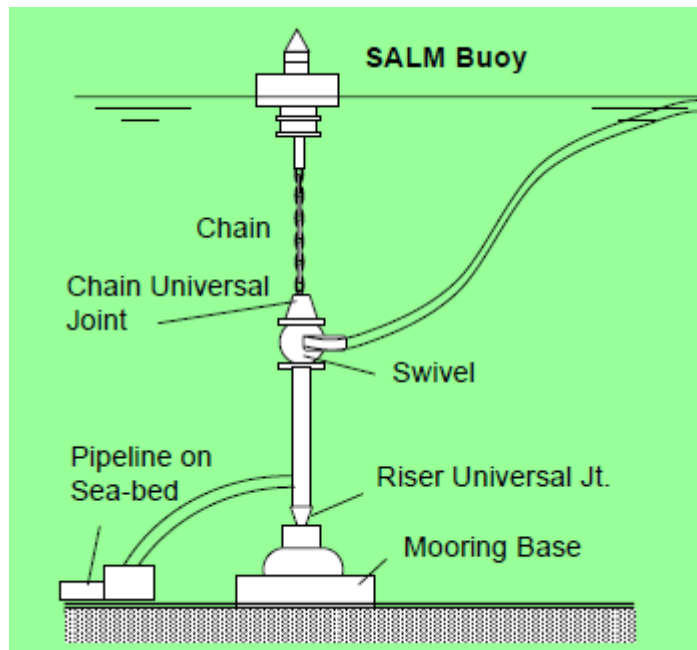
SPM jenis ini ciri utamanya adalah pengikatannya terhadap dasar laut, yaitu menggunakan konstruksi tower. Penyaluran produk minyak bisa dengan pipa *riser* yang terikat pada tower.



Gambar 2-3 Single Point Mooring Tower (SPMT)

d) *Single Anchor Leg Mooring (SALM)*

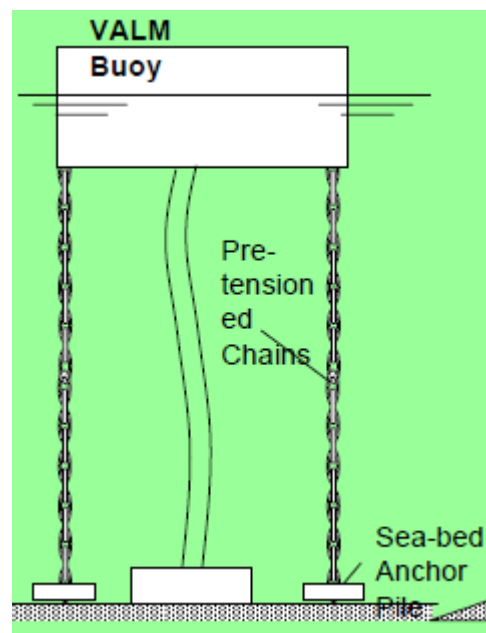
SALM didesain untuk tipe perairan yang sangat dangkal ataupun perairan yang sangat dalam (Maari, 1995). Dua versi dasar dari SALM adalah *chain-riser* dan *tubular-riser*, namun keduanya sama-sama berfungsi sebagai pendulum terbalik untuk memberikan gaya pengembali yang dibutuhkan sistem.



Gambar 2-4 Single Anchor Leg Mooring (SALM)

e) *Vertical Anchor Leg Mooring (VALM)*

Sistem dari VALM pada dasarnya mirip seperti pada CALM, perbedaan yang mendasar yaitu rantai pengikat dengan dasar laut dibuat tegang secara vertikal. Elastisitas dari sistem ini bergantung pada *displacement* dari badan buoy. Lebih detailnya dapat dilihat pada Gambar 2-5.



Gambar 2-5 Vertical Anchor Leg Mooring (VALM)

2.1.2 Komponen SPM

Ada empat bagian dalam total sistem SPM, antara lain: *body of the buoy*, *mooring and anchoring elements*, and *product transfer system* serta komponen lainnya. Semua bagian ini memiliki peranan yang sama pentingnya. Sedangkan untuk komponen mooring meliputi: *anchors or piles* (untuk menghubungkan the *mooring* ke the *seabed*, *sinker or anchor chain joint to buoy* (SPM), *anchor chain*, *chain stoppers* (untuk menghubungkan *chains* ke *buoy*).

a) *Buoy body*

Buoy body biasanya diikatkan pada kaki statis melekat pada dasar laut, dengan bagian yang berputar di atas permukaan air yang terhubung ke tanker (off) *loading*. Kedua bagian tersebut dihubungkan oleh sebuah bantalan rol, disebut sebagai "bantalan utama". Kapal tanker ditambatkan bebas dapat berputas bebas sekitar *buoy* dan menemukan posisi yang stabil karena pengaturan ini.

b) *Mooring and anchoring element*

Mooring berfungsi menahan *buoy body* yang terhubung ke dasar laut. Desain *buoy body* harus disesuaikan dengan kondisi atau perilaku angin, gelombang dan arus dan ukuran kapal tanker. Hal ini menentukan susunan *mooring* optimal dan ukuran komponen kaki semua tambatan. *Anchoring* poin juga sangat tergantung pada kondisi tanah setempat.

Untuk menambatkan kapal tanker ke sebuah *buoy body* yaitu dengan menggunakan tambang kapal. Susunan tambang kapal biasanya terdiri dari tali nilon yang diikat ke tambat yang ada di dek *buoy body*. Sistem tambang kapal menggunakan satu atau dua tali tambang tergantung pada ukuran kapal yang akan berlabuh ke SPM.

c) *Product transfer system*

Komponen sistem transfer produk dari dasar laut adalah *Flexible Subsea Hoses* yang biasa disebut dengan "*Risers*". *Floating Hose*, *Swivel*, *Valves* (katup) and *Piping* (pipa).

Riser adalah selang fleksibel yang menghubungkan pipa bawah laut ke SPM. Pengaturan *riser* ini dapat bervariasi tergantung pada kedalaman air laut, gerakan SPM, dll.

Floating Hose menghubungkan SPM ke kapal tanker. *Floating Hose* dilengkapi dengan lapisan yang banyak untuk mencegah pecahnya selang dan menghindari tumpahan minyak.

Swivel adalah hubungan antara geostatic atau dasar laut dengan bagian yang berputar dari SPM. *Swivel* mempunyai berbagai ukuran tergantung pada ukuran pipa yang terpasang dan *riser*. *Swivel* adalah jalur independen khusus untuk produk atau satu cairan yang akan di ambil dari dasar laut. *Swivel* dilengkapi dengan pengaturan segel ganda untuk meminimalkan kemungkinan kebocoran produk ke lingkungan.

d) Komponen lainnya

Beberapa komponen lain yang terdapat pada SPM adalah:

- i) Sebuah Landing Perahu yang menyediakan akses ke geladak pelampung dari kapal Tanker.
- ii) *Fendering* untuk melindungi pelampung,
- iii) *Toolkit* untuk penanganan penanganan material yang rusak.
- iv) Navigasi maritim
- v) Sebuah Subsistem Listrik untuk memungkinkan operasi katup dan navigasi atau peralatan lainnya.

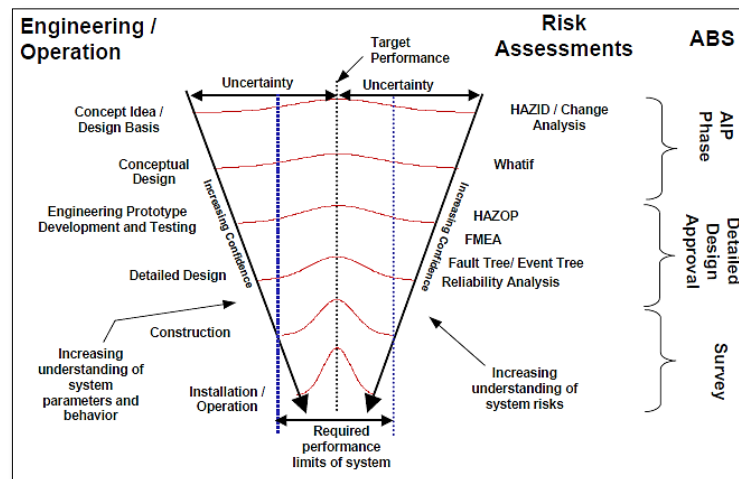
2.2 Pengkajian Teknologi Baru (*Technology Qualification*)

Teknologi baru biasanya melibatkan aspek inovatif yang tidak ditangani oleh standar normatif yang ada dan karenanya tidak dapat dinilai melalui prosedur sertifikasi umum. Untuk memastikan bahwa teknologi baru dapat diimplementasikan dengan cara yang aman dan dapat diandalkan, sebuah penilaian khusus dilakukan, yang dalam banyak industri, misalnya, sektor energi, yang dikenal sebagai *Technology Qualification* (TQ). TQ bertujuan membuktikan dengan tingkat yang dapat diterima dari keyakinan bahwa teknologi baru akan berfungsi dalam batas yang ditentukan. Dalam bahasa Indonesia TQ dapat disebut dengan pengkajian teknologi.

Pendapat ahli memainkan peran penting dalam sebuah pengkajian teknologi, baik untuk mengidentifikasi bukti keamanan dan keandalan yang perlu dikembangkan, dan untuk menafsirkan bukti yang diberikan. Karena sering ada

beberapa ahli yang terlibat dalam pengkajian teknologi, sangat penting untuk menerapkan proses terstruktur untuk memunculkan pendapat ahli, dan menggunakan informasi ini secara sistematis ketika menganalisis kepuasan keamanan dan keandalan tujuan sebuah teknologi.

Beberapa badan klasifikasi memberikan prosedur dalam proses pengkajian teknologi baru. *American Bureau of Shipping* (ABS) dalam “*Guidance Notes On Review And Approval Of Novel Concepts June 2003*” menyajikan prosedur yang cukup terperinci. *Lloyds Register* (LR) juga memberikan panduan dalam pengkajian teknologi baru dalam “*Guidance Notes for Technology Qualification*”. Sedangkan *Det Norske Veritas* (DNV) memberikan prosedur pengkajian teknologi baru dalam “*Recommended Practice DNV-RP-A203: Qualification of New Technology*”.

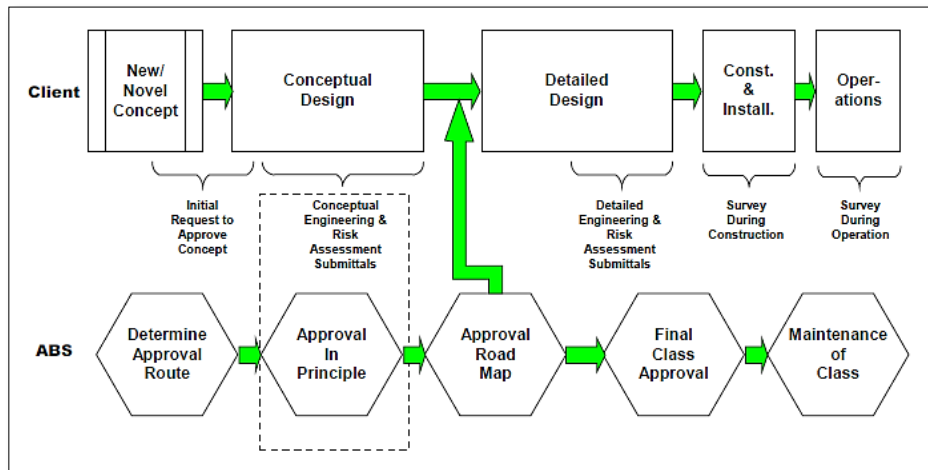


Gambar 2-6 Evolusi sebuah konsep teknologi baru
 Sumber: ABS *Guidance Notes On Review And Approval Of Novel Concepts June 2003*

ABS menggambarkan proses evolusi dari sebuah teknologi seperti terlihat pada Gambar 2-6. Proses pengkajian teknologi baru dibagi menjadi tiga tahap utama. Pertama, tahap *Approval in Principle* (AIP) menjelaskan kapan dan apa saja yang perlu diserahkan, proses review, dan potensi keberhasilan. Tahap kedua, yang seiring dengan kemajuan pekerjaan ke dalam detail desain, konstruksi, instalasi dan akhirnya penerbitan persetujuan kelas dari ABS. Tahap terakhir adalah pemeliharaan kelas yang merupakan evaluasi yang terus berlangsung untuk memastikan asumsi awal mengenai risiko terpenuhi.

2.2.1 Prosedur Pengkajian Teknologi Baru (*Technology Qualification*)

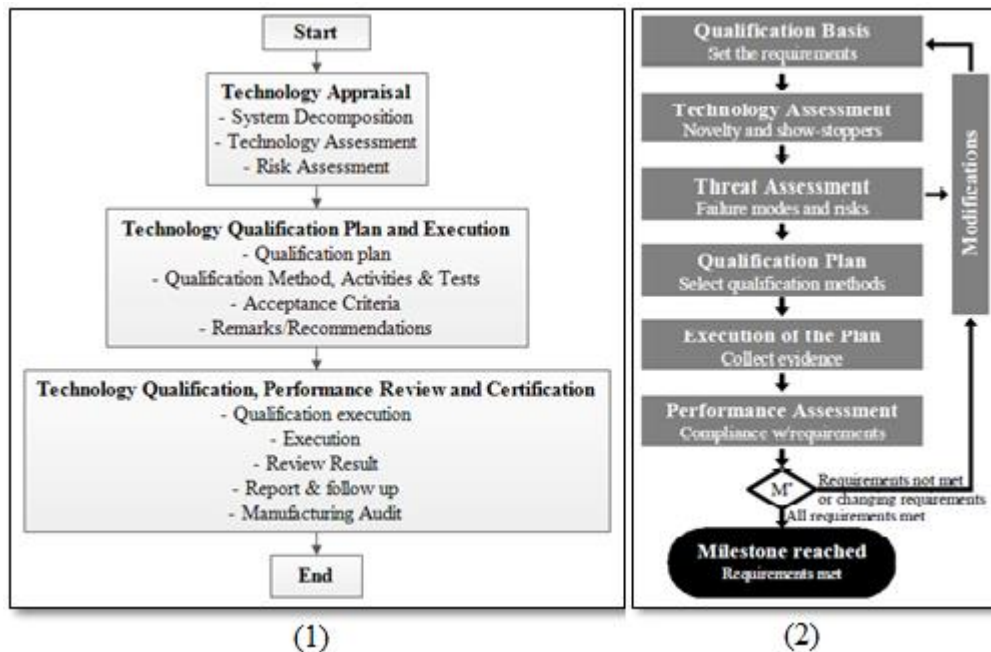
Tahapan pengkajian teknologi menurut ABS secara umum digambarkan dalam sebuah diagram seperti pada Gambar 2-7.



Gambar 2-7 Proses persetujuan teknologi baru

Sumber: ABS *Guidance Notes On Review And Approval Of Novel Concepts* June 2003

Selain ABS, beberapa badan klasifikasi seperti *Det Norske Veritas* (DNV) dan *Lloyd's Register* (LR) juga mengeluarkan panduan mengenai metode *Technology Qualification*.



Gambar 2-8 (1) Model TQ LR, (2) Model TQ DNV

Sumber: LR *Guidance Note of TQ*, DNV *Qualification of Technology*.

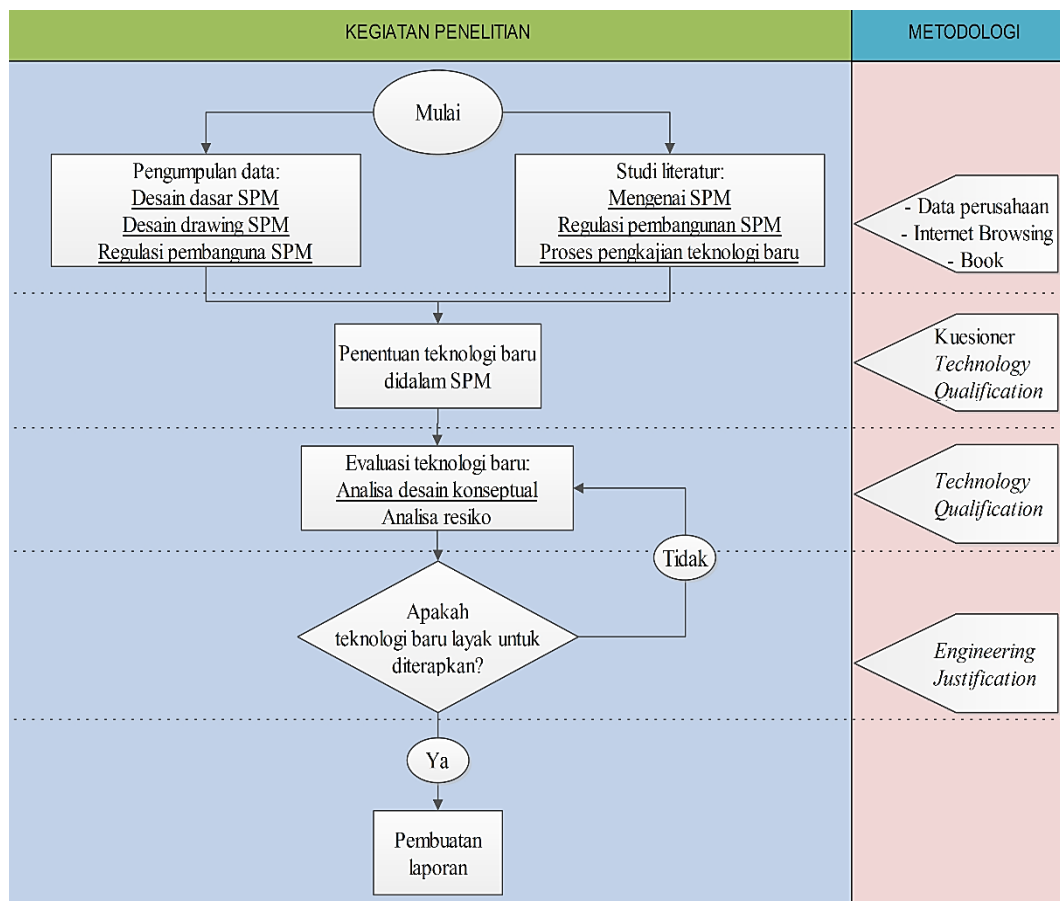
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana langkah-langkah dalam pengerjaan penelitian ini. Digambarkan dengan diagram alir pengerjaan, kemudian dijelaskan proses pada setiap poin yang ada dalam diagram alir tersebut.

3.1 Diagram Alir Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam menyusun penelitian ini dapat digambarkan dalam diagram alir (*flow chart*) pengerjaan sebagai berikut:



Gambar 3-1 Diagram alir pengerjaan tesis

3.2 Langkah Pengerjaan Penelitian

3.2.1 Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan pengetahuan serta teori-teori yang berkaitan dengan tema dari penelitian ini. Studi yang dilakukan yaitu mengenai:

i) Single Point Mooring

Pengetahuan mengenai SPM sangat dibutuhkan dalam menunjang pengerjaan penelitian ini. Apa itu SPM, jenis dan sistem kerjanya serta semua karakteristik yang dimiliki dan juga teknologi terbaru dari SPM saat ini.

ii) Regulasi pembangunan SPM

Perlu dipelajari juga mengenai peraturan yang berlaku dalam pembangunan SPM. Ini penting karena untuk mengetahui apakah komponen di dalam SPM sudah memiliki standart atau belum. Untuk teknologi baru tentunya belum secara gamblang dijelaskan di dalam peraturan ataupun standart yang berlaku.

iii) Proses pengkajian teknologi baru

Teknologi baru berkembang dari waktu ke waktu. Berbagai teknologi ditemukan setiap tahunnya dan pasti membutuhkan pengkajian. Dalam pengkajian yang dilakukan pastinya ada prosedur yang secara prinsip tidak jauh berbeda, hanya penyesuaian mengenai teknologi yang dikaji. Proses perlu diketahui untuk memberi gambaran dari segi apa saja sebuah teknologi itu dikaji.

3.2.2 Pengumpulan Data

Data yang perlu untuk dimiliki adalah data terkait studi literatur yang akan digunakan dalam penelitian ini. Metode yang digunakan untuk mendapatkan data adalah dengan mendatangi perusahaan yang akan membangun SPM. Jika diperlukan maka akan dilakukan survey lapangan untuk mendapatkan data yang lebih akurat.

3.2.3 Penentuan Teknologi Baru SPM

SPM secara umum adalah teknologi lama yang sudah dikembangkan di tahun 90an. Penentuan teknologi baru disini adalah untuk memilih komponen mana dari SPM yang akan dibangun yang merupakan teknologi baru. Metode yang

digunakan adalah dengan pengisian kuisioner. Daftar pertanyaan kuisioner telah diatur dalam *technology qualification*.

3.2.4 Evaluasi Teknologi Baru

Pekerjaan inti dari peneliti ini adalah evaluasi teknologi baru. Setelah diketahui komponen yang merupakan teknologi baru, maka akan dilakukan evaluasi untuk membuktikan bahwa komponen itu layak untuk diterapkan. Metode yang digunakan disesuaikan dengan komponen terkait. Analisa kekuatan, analisa *response* terhadap kondisi operasi, batas tegangan yang terjadi dan kelebihan kekurangan dari komponen tersebut. Dari proses ini akan didapatkan apakah teknologi tersebut layak diterapkan atau tidak. Apabila tidak layak maka akan dikaji kembali dengan modifikasi desain hingga teknologi tersebut dapat dikategorikan layak untuk diterapkan.

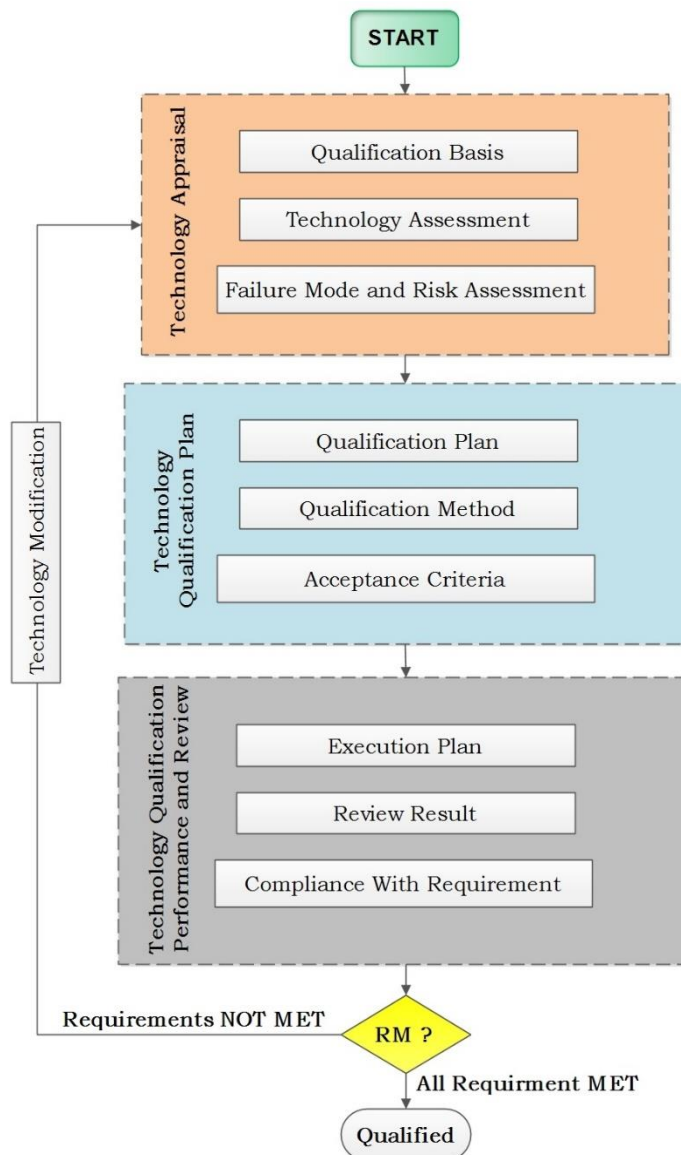
3.2.5 Pembuatan Laporan

Setelah semua tahapan selesai dilaksanakan, selanjutnya adalah proses pembuatan laporan sebagai syarat selesainya penelitian ini. Akan ditarik kesimpulan dari analisa dan perhitungan yang dilakukan. Serta saran dibuat untuk menyempurnakan terhadap apa-apa yang belum tercakup di dalam proses pengkajian ini.

BAB 4

PROSES PENGKAJIAN TEKNOLOGI

Beberapa prosedur dalam mengkaji sebuah teknologi yang diberikan oleh badan klasifikasi, telah di sajikan di bab 2.2.1. Prosedur yang diberikan oleh ABS, LR dan DNV secara umum merekomendasikan tahapan proses pengkajian yang relatif sama. Dengan mengkolaborasi ketiga prosedur dan penyesuaian langkah-langkah yang ada didapatkan tahapan pengkajian yang akan digunakan dalam penelitian ini seperti terlihat pada Gambar 4-1 berikut.



Gambar 4-1 Prosedur pengkajian teknologi SPM

Tiga tahapan besar berdasarkan prosedur yang diberikan LR, yaitu *Technology appraisal*, *Technology qualification plan*, dan *technology qualification performance and review*. Dalam ketiga tahapan tersebut terdapat langkah-langkah yang secara garis besar terdapat dalam rekomendasi LR dan DNV. Diakhir proses dilakukan pengecekan apakah teknologi yang dikaji memenuhi permintaan yang disyaratkan atau tidak. Apabila teknologi tidak layak dan belum memenuhi persyaratan maka dilakukan tahapan tambahan yaitu memodifikasi teknologi yang selanjutnya dikaji kembali.

4.1 Technology Appraisal

4.1.1 Qualification Basis

Qualification Basis adalah langkah pertama yang penting dalam proses pengkajian teknologi, karena dalam tahapan ini terdapat informasi dasar dari teknologi yang akan dikaji. *Qualification Basis* mendefinisikan secara spesifik bagaimana teknologi ini dimaksudkan untuk digunakan, kondisi lingkungan dimana teknologi ini akan beroperasi, persyaratan dan kriteria yang harus dipenuhi sebelum teknologi ini digunakan. Dalam rekomendasi DNV tahapan *Qualification Basis* dibagi menjadi dua yaitu *technology specification* and *requirement specification*.

Technology specification mendefinisikan teknologi baru secara jelas, melalui deskripsi umum, perhitungan data, gambar dan standar serta dokumentasi yang relevan. *Technology specification* mengidentifikasi bagian mana dari sebuah teknologi yang merupakan teknologi baru dan tingkat kebaruan dari sebuah teknologi. Identifikasi dari teknologi juga dimaksudkan untuk menentukan keahlian yang diperlukan dalam proses pengkajiannya.

Requirement specification adalah target kuantitatif yang harus dipenuhi teknologi baru agar dapat dipastikan bahwa teknologi baru layak diterapkan. Kriteria penerimaan yang relevan harus ditentukan, seperti:

- Keandalan, ketersediaan dan *maintainability*..
- Persyaratan keselamatan, kesehatan dan Lingkungan (SHE).
- Persyaratan fungsional dan data utama yang merupakan ekspektasi terhadap teknologi baru.

4.1.2 *Technology Assessment*

Langkah kedua adalah *Technology Assessment* yang merupakan tahap analisis untuk menentukan tingkat kebaruan dan identifikasi bahaya dari sebuah teknologi. Hal yang dilakukan dalam tahapan ini adalah *Technology Composition Analysis*, *Technology Categorization* dan *Identification of Main Challenges and Uncertainties* (HAZID). Penilaian tersebut dilakukan berdasarkan data yang tersedia dari langkah sebelumnya.

Technology Composition adalah proses pemecahan teknologi menjadi sistem-sistem dan elemen-elemen yang merupakan penyusunnya. Sistem dan elemen ini akan dianalisa secara terpisah namun tetap memperhatikan keterkaitan antar sistem dan elemtersebut.

Output dari analisis komposisi teknologi selanjutnya digunakan dalam *Technology Categorization*. *Technology Categorization* adalah metode untuk menentukan, sejauh mana tingkat kebaruan dari sistem atau elemen-elemen dari sebuah teknologi. Beberapa dokumen yang dapat dijadikan acuan yaitu yang diterbitkan oleh ABS dan DNV.

ABS mendefinisikan teknologi baru dengan “*Novel Concept*”, yang mana dapat berupa fasilitas, sistem, subsistem maupun komponen dari sebuah fasilitas. Berikut merupakan definisi teknologi baru menurut ABS:

- i) *Existing design/process/procedures in new or novel applications*. Contoh, usulan penerapan teknologi yang ada di darat (seperti penggunaan proses kimia atau media penyimpanan) pada struktur terapung (di laut).
- ii) *Existing design/process/procedures challenging the present boundaries/envelope of current offshore or marine applications*. Contoh, usulan penggunaan bangunan terapung yang biasa untuk pengeboran minyak dijadikan juga sebagai tempat penampungan (*storage*).
- iii) *New or novel design/process/procedures in existing applications*. Contoh, usulan jenis baru struktur terapung lepas pantai yang belum pernah digunakan dalam industri sebelumnya.
- iv) *New or novel design/process/procedures in new or novel application*. Contoh, usulan penggunaan aplikasi teknologi yang ada di darat, seperti

penggunaan media penyimpanan khusus pada jenis baru dari struktur terapung yang berisi sistem yang belum terbukti atau *novel*.

Dalam rangka untuk membantu menentukan apakah desain yang diusulkan jatuh ke dalam kategori teknologi baru (*Novel Concept*) ABS memberikan tabel *check list*. Keuntungan dari *check list* adalah mengetahui tingkat kebaruan dari sebuah teknologi serta apabila merupakan teknologi baru, prosedur apakah yang tepat untuk digunakan dalam proses pengkajiannya.

Dalam dokumen DNV-RP-A203, disebutkan pula mengenai cara menentukan tingkat kebaruan teknologi.

Tabel 4-1 Technology Categorization DNV

Application Area	Degree of novelty of technology		
	Proven	Limited Field History	New or Unproven
Known	1	2	3
Limited Knowledge	2	3	4
New	3	4	4

Keterangan:

- 1 *No new technical uncertainties (proven technology).*
- 2 *New technical uncertainties.*
- 3 *New technical challenges.*
- 4 *Demanding new technical challenges.*

Kategori 1, merupakan teknologi yang telah terbukti dapat diterapkan. Penerapannya dapat langsung mengacu pada standart yang berlaku. Panduan telah disediakan dalam penerapan teknologi ini, sehingga tidak perlu dilakukan pengkajian secara khusus.

Teknologi yang masuk dalam kategori 2-4 merupakan teknologi baru, dimana teknologi ini mengalami peningkatan ketidak pastian teknis. Teknologi dalam kategori ini harus dikaji lebih mendalam dengan metode khusus yang dapat diterima.

Identification of Main Challenges and Uncertainties adalah proses mengidentifikasi bahaya dan tantangan yang akan dihadapi oleh teknologi baru apabila teknologi itu diterapkan. Data ini nantinya akan dijadikan pertimbangan dalam analisa selanjutnya.

4.1.3 Failure Mode and Risk Assessment

Teknologi baru yang dikaji harus ditindaklanjuti dengan analisa risiko. Analisa risiko sangat penting karena berkaitan dengan keselamatan baik dalam bentuk materi bahkan keselamatan jiwa. Analisa risiko akan selalu berkaitan dengan model kegagalan dan mekanisme kegagalan. Analisa risiko dilakukan dengan *expert judgement*, melalui informasi yang dikumpulkan dari *Technology Qualification Basis*. Penilaian harus mengidentifikasi semua mode dan mekanisme kegagalan yang mungkin terjadi selama umur teknologi yang direncanakan.

Ada beberapa metode yang dirancang untuk penilaian model kegagalan, tetapi yang paling umum adalah *Failure mode, Effect and Criticality Analysis* (FMECA). FMECA adalah metode yang sistematis untuk digunakan, tetapi hanya mempertimbangkan satu model kegagalan waktu yang sama, tidak termasuk kombinasi dari beberapa model kegagalan.

Frekuensi kegagalan diperhitungkan untuk memperkirakan peluang terjadinya setiap model kegagalan. Frekuensi kejadian harus berdasarkan sumber data yang dipercaya, seperti hasil pengujian ataupun sumber lain yang disetujui. Apabila data tidak mencukupi, dapat juga dengan mempertimbangkan pendapat para ahli di bidangnya. Tabel 4-2 menunjukkan pengelompokan frekuensi dalam beberapa kelas atau kategori.

Tabel 4-2 Model kegagalan dan kategori frekuensi

Level	Probability	Description
A	10^{-1}	Likely to occur frequently
B	10^{-2}	Probable – may occur several times in the life of an item
C	10^{-3}	Occasional – may occur sometime in the life of an item
D	10^{-4}	Remote – unlikely to occur but possible
E	10^{-5}	Improbable – unlikely to occur at all

Sumber: IMCA M 166, 2002

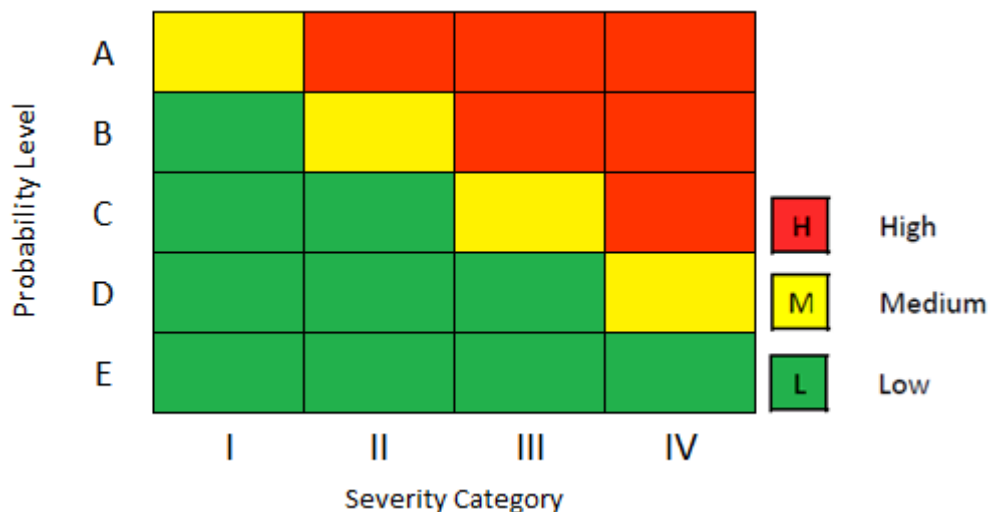
Konsekuensi dari kegagalan diidentifikasi untuk setiap mode kegagalan. Identifikasi ini didasarkan pada penilaian ahli di mana tingkat keparahan diterapkan pada setiap konsekuensi dari model kegagalan. Contoh kategori konsekuensi diilustrasikan pada Tabel 4-3.

Tabel 4-3 Tingkat keparahan konsekuensi model kegagalan

Category	Degree	Description
I	Minor	Functional failure of part of a machine or process with no potential for injury, damage or pollution
II	Critical	Failure will probably occur without major damage to system, pollution or serious injury
III	Major	Major damage to system with a potential for serious injury to personnel and minor pollution
IV	Catastrophic	Failure causes complete system loss with a high potential for fatal injury and major pollution.

Sumber: IMCA M 166, 2002

Penilaian risiko merupakan hasil kali antara nilai frekuensi dengan nilai keparahan suatu resiko. Untuk menentukan kategori suatu resiko apakah itu rendah, sedang, tinggi ataupun ekstrim dapat menggunakan metode matriks resiko seperti pada Gambar 4-2.



Gambar 4-2 Matriks risiko dari beberapa model kegagalan

Sumber: IMCA M 166, 2002

4.2 Technonogy Qualification Plan

4.2.1 Qualification Plan

Rencana proses pengkajian dibuat untuk membuktikan bahwa teknologi baru yang ditawarkan mampu mengatasi risiko dan semua model kegagalan yang ada. Proses dan metode yang digunakan diharapkan mampu mendapatkan angka kuantitatif yang merepresentasikan kemampuan dari teknologi baru.

4.2.2 *Qualification Method*

Beberapa metode yang digunakan dalam proses pengkajian yaitu, metode analitik, metode numerik, atau dapat juga dengan eksperimen di laboratorium. Metode yang dipilih disesuaikan dengan teknologi baru yang dianalisa serta mempertimbangkan risiko yang mengancam teknologi tersebut ketika nanti diterapkan.

4.2.3 *Acceptance Criteria*

Semua proses pengkajian harus menetapkan *Acceptance Criteria*, yaitu sebuah acuan yang digunakan untuk memutuskan bahwa sebuah teknologi baru dapat diterima. *Acceptance Criteria* dapat bersumber pada *rule* atau peraturan umum yang berlaku. *Acceptance Criteria* juga dapat berupa batasan yang diambil dari kriteria sebuah material atau kemampuan maksimal sebuah produk.

4.3 *Technology Qualification Performance and Review*

4.3.1 *Execution Plan*

Setelah rencana pengkajian dibuat dengan matang, langkah selanjutnya yaitu menjalankan rencana tersebut. Setiap langkah dilakukan dengan hati-hati karena data yang didapatkan harus valid. Langkah ini merupakan langkah inti dalam pengkajian teknologi yang menghabiskan banyak waktu, biaya dan tenaga.

4.3.2 *Review Result*

Data yang didapatkan dari setiap langkah harus didokumentasikan dengan baik. Pemeriksaan data dilakukan untuk mendapatkan data yang valid dan dapat dibuktikan kebenarannya. Dari data yang dihasilkan juga dapat digunakan untuk mengoreksi ketepatan proses pengkajian yang dilakukan. Data yang didokumentasikan juga harus tepat, sesuai dengan kriteria dan *requirement* yang diminta pada tahap *qualification basis*.

4.3.3 *Compliance With Requirement*

Langkah terakhir adalah pemeriksaan data. Data yang merupakan hasil pengkajian dari setiap proses yang dilakukan dibandingkan dengan *Acceptance Criteria* dan *requirement* yang telah ditentukan sebelumnya. Apabila semua data telah sesuai dan memenuhi, maka proses pengkajian selesai. Namun apabila ada data yang belum sesuai atau tidak memenuhi, maka proses berlanjut dengan mengubah komposisi teknologi baru yang ditawarkan. Setelah perubahan dilakukan

selanjutnya dilakukan proses pengkajian yang sama dengan sebelumnya, tanpa merubah *Technonogy Qualification Plan*.

BAB 5

PENGKAJIAN TEKNOLOGI PADA SPM

5.1 *Qualification Basis SPM*

Single Point Mooring (SPM) yang dijadikan studi kasus dalam penelitian ini adalah SPM OCTA 03. SPM ini didesain sebagai fasilitas terminal transfer minyak dan atau gas di perairan dangkal. SPM OCTA 03 diharuskan mampu digunakan sebagai tempat bertambatnya tanker dengan ukuran 125.000 DWT, dan dalam keadaan operasional digunakan untuk *loading* dan *offloading* minyak terhadap tanker. Dalam keadaan cuaca badai di laut, tanpa ada kapal tanker yang tertambat, SPM OCTA 03 harus mampu bertahan, tidak tenggelam atau hanyut akibat arus dan gelombang yang terjadi.



Gambar 5-1 SPM pada kondisi operasional di laut

Bentuk lambung octagonal yang menjadi inovasi pada SPM OCTA 03 perlu dianalisa kelayakan penerapannya, mengingat pengaruhnya terhadap komponen lain yang berkaitan. Bentuk lambung dari SPM akan mempengaruhi respon gerak terhadap gelombang laut yang terjadi. Gerakan SPM menyebabkan adanya *tension* pada *mooring line* baik yang mengikat terhadap dasar laut, maupun *hawser* yang berfungsi menambatkan kapal. Tension yang terjadi pada *mooring line* memberikan beban tambahan pada struktur lambung SPM.

Bentuk lambung octagonal atau segi delapan pada SPM OCTA 03 diusulkan berdasarkan beberapa pertimbangan yaitu dari segi proses produksi dan pertimbangan terkait penggunaan hak cipta teknologi SPM.

Dari segi produksi, SPM dengan bentuk octagonal dianggap lebih mudah dibuat, dikarenakan beberapa hal berikut:

1. Tidak perlu adanya *bending* pelat baja pada proses fabrikasi. Semua plat baja pada proses *assembly* hanya memerlukan plat datar (*flat*). Begitu juga dengan komponen konstruksi lainnya seperti penegar dan penumpu. Lain halnya pada SPM dengan bentuk lambung silinder yang memerlukan proses pembengkokan pada beberapa komponen konstruksinya.
2. Proses pemotongan pelat lebih mudah, dengan alur pemotongan garis lurus tanpa diperlukan mal khusus. Untuk perusahaan/galangan kecil dengan peralatan terbatas, proses ini lebih mudah dilakukan.
3. Proses pengelasan lebih mudah karena alur las berupa garis lurus. Akan lebih susah melakukan pengelasan *overhead* dengan alur las melingkar (*rounded*) pada lambung SPM bentuk silinder.



Gambar 5-2 Desain SPM OCTA 03

Sebelum analisa terhadap inovasi pada lambung SPM dilakukan, langkah pertama yaitu mengumpulkan data mengenai SPM OCTA 03. Data utama desain

basis dapat dilihat pada tabel di bawah ini, dan lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran laporan ini.

Tabel 5-1 Ukuran utama SPM OCTA 03

Ukuran lambung	14 m (diameter terluar) x 5.5m (tinggi geladak)
Bentuk lambung	Segi delapan dengan <i>center well</i> dan <i>Skirt</i>
Jumlah kompartement	8
Diameter <i>center well</i>	3.55 m
Draft desain	3.2 m
Berat keseluruhan	279.047 ton
Register	American Bureau of Shipping (ABS)
Product for offloading	Crude Oil & Gas
Kedalaman dasar laut	35 m
Desain umur	30 tahun
<i>Return period</i>	10 tahun (operational) & 100 tahun (kondisi ekstrim)
Sistem <i>Mooring</i>	<i>Catenary Anchor Leg Mooring (CALM) system,</i>
	<i>8-Anchoring Legs equally spaced at 45 degree intervals</i>
	<i>95 mm R4 Studless, Breaking Load = 918 tonne</i>
	<i>Chain exit angle = 35 degrees from horizontal under the buoy</i>
Material konstruksi lambung	AH-36

5.2 Technology Assessment SPM

5.2.1 Tingkat kebaruan teknologi bentuk lambung octagonal SPM

Pada studi kasus SPM OCTA 03, inovasi yang diusulkan yaitu bentuk lambung octagonal. Untuk mengetahui apakah inovasi yang diusulkan merupakan teknologi baru atau bukan, maka perlu dilakukan penilaian. Penilaian terhadap bentuk lambung octagonal menggunakan tabel “*novel concept*” yang diberikan oleh ABS sebagai berikut.

Tabel 5-2 Novel Concept Checklist of Octagonal Hull SPM

No.	Question	Yes/No/NA
General		
G1	Apakah jenis teknologi atau fasilitas lepas pantai yang diusulkan, pada saat ini sedang digunakan dalam aplikasi laut atau lepas pantai?	Yes
	Jika Ya, berapa tahun perkiraan umur operasional dari pengalaman fasilitas laut atau lepas pantai yang sama?	25

G2	Apakah <i>design basis</i> kapal atau fasilitas lepas pantai (misalnya, kendala lingkungan, parameter operasi [suhu, tekanan], beban topside atau hubungannya dengan sistem kelautan) dianggap dalam batas-batas pengalaman terbaru bagi teknologi ini?	Yes
G3	Apakah ada dokumen pedoman desain yang berlaku (misalnya, ABS, API, IMO, ASME) khusus untuk teknologi kelautan atau lepas pantai yang diusulkan?	Yes
Stationkeeping Aspects		
SK 1	Apakah desain sistem mooring yang diusulkan dianggap dalam batas-batas pengalaman saat ini untuk kapal atau fasilitas terapung?	Yes
	Apakah material mooring line pada teknologi yang diusulkan memperhatikan ketersediaan industri yang ada saat ini?	Yes
	Apakah pengaturan <i>mooring system</i> yang diusulkan memperhatikan ketersediaan industri saat ini (misalnya, tidak ada fitur pengaturan unik seperti garis persimpangan komponen penting atau komponen tambat lainnya di dekat komponen penting)?	Yes
	Apakah sistem kontrol mooring yang diusulkan memerlukan pemantauan aktif yang mirip dengan <i>mooring system</i> yang ada untuk jenis aplikasi yang sama dan dirancang sesuai dengan standar dan <i>Recommended Practice</i> yang ada?	Yes
	Apakah saat ini sudah ada aplikasi dari <i>mooring anchorage system</i> yang diusulkan (misalnya, <i>piles</i> , jangkar atau lainnya)?	Yes
SK 2	Apakah desain sistem <i>thruster</i> yang diusulkan dianggap dalam batas-batas pengalaman saat ini untuk kapal atau fasilitas terapung?	N/A
	Apakah parameter lingkungan dan operasi untuk sistem <i>thruster</i> masih dalam batasan pengalaman untuk kapal atau fasilitas terapung?	N/A
	Apakah sistem kontrol untuk sistem <i>thruster</i> dianggap dalam batas-batas pengalaman saat ini untuk kapal atau fasilitas terapung?	N/A
	Apakah konsekuensi yang akan timbul terkait dengan kegagalan sistem <i>thruster</i> dianggap mirip dengan aplikasi <i>thruster</i> lainnya?	N/A
Structural Aspec		
S1	Apakah lambung yang diusulkan atau desain struktur utama dianggap dalam batas-batas pengalaman yang ada untuk kapal atau fasilitas lepas pantai?	No
	Apakah sudah ada penerapan konfigurasi struktural seperti yang diusulkan (misalnya, bentuk yang unik, ukuran ekstrim [ditingkatkan dari versi yang ada aplikasi], pengaturan [tata	No

	letak baru untuk meningkatkan stabilitas, gerakan, konstruksi atau kecepatan] atau pembebanan yang tidak lazim)?	
	Apakah sudah ada desain struktural yang menggunakan material, detail sambungan atau toleransi konstruksi untuk aplikasi yang serupa?	Yes
	Apakah desain yang diusulkan tidak akan membutuhkan peningkatan (yaitu, selain apa yang biasanya diperlukan oleh Aturan kelas) pemeliharaan atau prosedur pemantauan struktural untuk memastikan integritas yang memadai dan kinerja struktural karena fitur baru atau penerapan teknologi baru?	No
Other Systems/Aspects		
AS1	Tidak ada teknologi baru atau novel konsep lain yang tidak secara khusus tercakup dalam klasifikasi (misalnya, jenis baru dari sistem offloading atau sistem pendukung riser baru) di mana kinerja sistem yang berpotensi menimbulkan dampak, baik secara langsung maupun tidak langsung, pada integritas struktural kapal, stabilitas atau keamanan <i>classed components</i> ?	No
AS2	Tidak ada penggunaan spesifikasi material baru atau pemakaian material yang belum teruji sebagai material memadai untuk penggunaan kelautan dan lingkungan lepas pantai.	Yes
AS3	Untuk semua mode kegagalan yang teridentifikasi, terdapat data yang sesuai dan pengalaman terhadap sifat material kunci dan karakteristik yang dibutuhkan untuk mengatasi semua mode kegagalan selama operasi.	Yes

ABS menyebutkan bahwa “apabila jawaban dari semua *checklist* yang diberikan adalah YES atau N/A maka inovasi yang diusulkan **bukan** merupakan teknologi baru”. Dalam studi kasus SPM OCTA 03, terdapat empat (4) pertanyaan dengan jawaban NO, maka dapat disimpulkan bahwa inovasi bentuk lambung octagonal merupakan teknologi baru.

5.2.2 Pengaruh teknologi baru terhadap komponen SPM OCTA 03

Dalam menganalisa pengaruh teknologi baru terhadap komponen SPM, perlu dilakukan pembedahan terhadap komponen penyusun SPM. Terdapat dua cara dalam membagi komponen, yaitu berdasarkan fungsi dan berdasarkan bentuk fisik komponen. Dalam kasus SPM OCTA 03, pembagian dilakukan berdasarkan

fungsi, karena secara tidak langsung akan menyebutkan bentuk fisik komponen yang berperan dalam fungsi tersebut.

Tabel 5-3 Komposisi teknologi pada SPM OCTA 03

Komponen	Terpengaruh bentuk lambung	Keterangan
Mengapung dan stabilitas		
1. Lambung SPM	Ya	Letak titik berat
2. Kompartemen	Ya	Letak sekat
Sistem Kekuatan konstruksi		
1. Penegar dan pemumpu	Ya	Konvigurasi konstruksi
2. Pengelasan	Tidak	
Transfer minyak/gas		
1. Riser	Tidak	
2. Piping sistem	Tidak	
3. Valve	Tidak	
4. Swivel	Tidak	
5. Floating hoses	Tidak	
Penambatan kapal		
1. Rope	Tidak	
2. Pad eye	Tidak	
3. Rotation bearing	Tidak	
Penambatan thd. dasar laut		
1. Chain	Ya	Tension pada <i>chain leg</i> akibat karakteristik gerakan lambung
2. Anchor atau Pile	Tidak	
3. Chain stopper	Ya	

Lambung SPM (*buoy body*) merupakan komponen dari SPM yang menunjang fungsi pengapung dan stabilitas. Inovasi bentuk lambung octagonal pada SPM tentu mempengaruhi karakteristik pergerakan SPM selama mengapung dan digunakan di laut lepas. Gerakan lambung SPM berpengaruh pada kinerja semua komponen yang ada dalam SPM. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisa seberapa besar pengaruh bentuk lambung octagonal pada SPM.

Dari Tabel 5-3 di atas dapat diartikan bahwa, sistem yang harus dikaji lebih dalam yaitu sitem pengapung dan stabilitas, sistem konstruksi dan system *mooring* SPM terhadap dasar laut.

5.3 Failure Mode and Risk Assessment

Pembagian komponen telah dilakukan pada SPM. Penilaian risiko dilakukan pada komponen yang dikategorikan teknologi baru dan komponen yang memiliki keterkaitan fungsi dan terpengaruh adanya penerapan teknologi baru. Analisa risiko diawali dengan identifikasi bahaya. Penilaian risiko dilakukan mengacu pada *Failure mode, Effect and Criticality Analysis* (FMECA) *sheet* dengan sedikit modifikasi pada kolomnya. Tabel 5-4 menunjukkan model kegagalan beserta penilaian resikonya berdasarkan konskuensi dan frekuensi kejadiannya.

Ada enam komponen yang dianalisa dengan FMEA. Beberapa diantaranya menunjukkan risiko yang cukup tinggi. Dari tabel FMEA dapat di ekstrak kedalam sebuah matriks risiko, sehingga terlihat lebih jelas penilaian risiko yang telah dilakukan.

Probability Level	A				
	B	3		2 & 4	1
	C	5	6		
	D				
	E				
		I	II	III	IV
		Severity Category			

Gambar 5-3 Rangkuman analisa risiko SPM OCTA 03

Tabel 5-4 Failure mode, effect and critical analysis

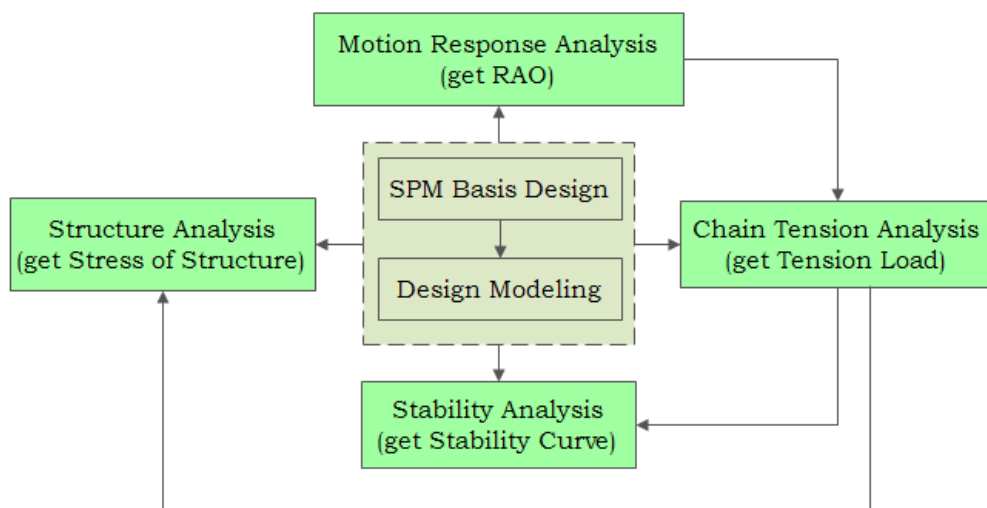
Deskripsi Komponen				Deskripsi Kegagalan			Ranking Risiko			Keterangan
No.	Nama Komponen	Fungsi Utama Komponen	Mode Operasional	Model Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Deteksi Kegagalan	Cons.	Freq.	Crit.	
1	Lambung SPM	Mengapung	Normal	Bocor Tenggelam	- Tabrakan - Kelebihan tegangan - Korosi	Inspeksi	IV	B	H	Kebocoran diakibatkan adanya kerusakan pada lambung SPM
2	Penegar dan pemumpu	Kekuatan konstruksi	Normal	Deformasi Retak dan Patah	- Tabrakan - Kelebihan tegangan - Korosi	Inspeksi	III	B	H	Tabrakan dapat pula merusak komponen kekuatan konstruksi SPM
3	Hawser/rope	Tambat kapal	Normal	Putus	- Kelebihan tegangan	Inspeksi	I	B	L	Apabila terjadi tegangan pada <i>rope</i> maka dapat saja menyebabkan putusnya mata
4	Chain	Tambat dasar laut	Normal	Putus	- Kelebihan tegangan - Korosi	Inspeksi	III	B	H	Apabila terjadi tegangan pada rantai maka dapat saja menyebabkan putusnya mata
5	Anchor atau Pile	Tambat dasar laut	Normal	Geser	- Struktur <i>Seabed</i>	Inspeksi	I	C	L	Kemampuan jangkar dalam menahan pergeseran
6	Riser	Transfer Fluida	Normal	Bocor minyak/ gas	- Kelebihan tegangan - Kelebihan tekanan	pressure meter	II	C	L	Apabila terjadi tegangan pada riser maka dapat saja menyebabkan kebocoran.

5.4 Qualification Plan

Analisa risiko yang telah dilakukan pada SPM menunjukkan bahwa adanya risiko kegagalan tertinggi pada *chain leg* dan kebocoran lambung, terkait dengan inovasi bentuk lambung SPM. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengkajian lebih mendalam pada bagian yang berhubungan dengan *chain leg* dan kebocoran lambung. Pada tahapan *Qualification Plan* akan disajikan sebuah metodologi yang dibutuhkan untuk melakukan pengkajian selanjutnya.

5.4.1 Qualification Plan

Dari data yang ada dan melihat pengaruh bentuk lambung SPM terhadap seluruh sistem maka dikembangkan sebuah rencana pengkajian seperti terlihat pada Gambar 5-4 berikut.



Gambar 5-4 Rencana pengkajian SPM OCTA 03

Berdasarkan analisa risiko yang telah dilakukan, komponen yang beresiko tinggi adalah *chain leg*, kebocoran lambung dan kegagalan struktur SPM. Untuk menganalisa apakah komponen tersebut mampu melawan risiko yang timbul, maka perlu dilakukan analisa lebih mendalam terkait hal tersebut.

5.4.2 Qualification Method

Untuk menganalisa kemampuan dari *chain leg*, analisa yang perlu dilakukan yaitu tegangan yang terjadi pada *chain leg* tersebut. Terjadinya kegagalan diakibatkan oleh adanya tegangan (*tension*) pada *chain leg* yang melampaui tegangan ijin dari *chain leg* tersebut. Bentuk lambung octagonal SPM

mempengaruhi tegangan yang terjadi pada *chain leg*. Gerakan lambung SPM akibat faktor lingkungan, mengakibatkan variasi tegangan yang terjadi pada *chain leg*.

Proses analisa tegangan pada *chain leg*, hal yang pertama dilakukan adalah mengetahui karakter gerakan lambung SPM (*motion*) akibat gelombang laut yang terjadi. Lambung SPM memiliki enam derajat kebebasan sebagai benda yang terapung di air. Analisa ini disebut dengan analisa *motion response* lambung SPM. Karakter gerakan lambung SPM akibat dari gelombang laut, pada keenam derajat kebebasan ditunjukkan dalam sebuah amplitudo yaitu RAO (*Response Amplitude Operator*). Metode yang digunakan pada analisa ini adalah dengan metode numerik dengan bantuan software komputer, yaitu ANSYS aqwa.

Setelah mendapatkan RAO dari lambung SPM dengan bentuk octagonal, langkah selanjutnya yaitu menghitung tegangan yang terjadi pada masing-masing *chain leg*. Perhitungan tegangan dilakukan dengan bantuan software komputer, yaitu Orcaflex. RAO yang didapatkan pada tahapan sebelumnya, dijadikan sebagai *input* untuk mendapatkan tegangan yang terjadi. Selain itu, data lingkungan laut yang diperoleh pada tahap *qualification basis* juga diperhitungkan pada analisa ini. Tegangan maksimum yang terjadi pada *chain leg* dibandingkan dengan tegangan ijin yang merupakan material properties dari *chain leg* yang digunakan.

Risiko kedua terkait inovasi bentuk lambung octagonal SPM adalah kemampuan struktur lambung SPM dalam menahan beban yang terjadi pada kondisi lingkungan ekstrim. Analisa yang dilakukan yaitu dengan metode numerik, dengan bantuan software komputer ANSYS Structure. Tegangan yang terjadi pada *chain leg* menjadi salah satu beban yang diterima struktur lambung SPM. Tegangan yang terjadi pada seluruh struktur SPM tidak boleh melebihi tegangan ijin dari material yang digunakan pada struktur SPM.

Risiko yang ketiga yaitu terkait dengan stabilitas lambung SPM dalam mengatasi kemungkinan terjadinya kebocoran pada salah satu kompartemennya. Inovasi bentuk lambung octagonal SPM diperkirakan mempunyai stabilitas yang bagus, baik dalam kondisi utuh maupun pada kondisi terjadi kebocoran. Analisa stabilitas dilakukan dengan bantuan software komputer Maxsurf Stability.

5.4.3 Acceptance Criteria

Analisa yang dilakukan berdasarkan *qualification plan* harus memiliki kriteria, bagaimana hasil perhitungan yang menunjukkan bahwa teknologi yang dianalisa telah mengontrol risiko dengan baik. Kriteria ditetapkan berdasarkan peraturan umum atau dapat juga diambil dari kemampuan maksimum dari sebuah material.

Pertama, analisa tegangan pada *chain leg* akibat *motion response* SPM terhadap gelombang laut. Kriterianya adalah, tension yang terjadi pada *chain leg* tidak boleh melebihi *breaking load* dari jenis *chain leg* yang digunakan dengan mempertimbangkan *safety factor*. ABS dalam peraturannya, “*Rules For Building and Classing Single Point Moorings 2014*”, Part 3, Chapter 5, Section 1-Anchoring and Mooring Equipment, mensyaratkan *safety factor* sebagai berikut.

- ✓ For the Design Operating Load Case (3)
- ✓ For the Design Environmental Load Case (2.5)
- ✓ One Line damage condition (2)

Dari desain basis SPM OCTA 03 diketahui bahwa *chain leg* yang direncanakan adalah *Chain grade R4* diameter 95 mm. Berikut *acceptance criteria* yang diterapkan pada *chain leg* SPM OCTA 03.

Tabel 5-5 Acceptance criteria analisa anchor leg tension

Chain Grade	Nominal diameter	Breaking Load (ton)	Safety Factor	Maximum Actual Tension (ton)
R4	95 mm	918		
For the Design Operating Load Case			3	306
For the Design Environmental Load Case			2.5	367.2
One Line damage condition			2	459

Kedua, analisa stabilitas pada bentuk lambung octagonal SPM OCTA 03. Kriteria yang harus dipenuhi pada analisa stabilitas, seperti yang disebutkan oleh ABS-“*Rules For Building and Classing Single Point Moorings 2014*”, Part 3, Chapter 3, Section 1-Stability and Watertight/Weathertight Integrity, yaitu:

a) Kondisi lambung utuh (*Intact ctability*)

- 1 Tinggi titik metacenter lebih dari 0 meter.

- 2 Energi penegak (luas area dibawah kurva momen penegak, *righting moment*) lebih besar dari 1.4 kali energi pengguling (luas area dibawah kurva momen pengguling, *overturning moment*).
- 3 Lambung SPM menerima gaya angkat yang cukup untuk melawan pretension dari *anchor leg*.

b) Kondisi lambung bocor (*Damage stability*)

- 1 SPM harus tetap mampu mengapung dalam kondisi terjadi kebocoran pada satu kompartemen.

Pada analisa struktur, kriteria penerimaan yang harus dipenuhi adalah tegangan yang terjadi pada struktur SPM tidak melebihi tegangan ijin dari material yang digunakan pada SPM OCTA 03 dengan mempertimbangkan *safety factor* yang disyaratkan. ABS “*Rules For Building and Classing Single Point Moorings 2014*”, Part 3, Chapter 2, Section 2-Structural Design, 7 Allowable Stress, memberikan panduan mengenai *safety factor* dan *allowable stress* sebagai berikut.

$$F = F_y / F.S.$$

- Dimana:
- F = tegangan yang diijinkan (*allowable stress*)
 - F_y = Yield strength material yang digunakan.
 - F.S = faktor keamanan (*safety factor*)

Design Operating Load Case

* untuk *Axial Bending Stress* = 1.67

* untuk *Shear Stress* = 2.50

Design Environmental Load Case

* untuk *Axial Bending Stress* = 1.25

* untuk *Shear Stress* = 1.88

Material yang digunakan pada pembangunan SPM OCTA 03 adalah baja AH-36. Sehingga tegangan ijin dapat dihitung sebagai berikut.

Tabel 5-6 Acceptance criteria analisa struktur SPM

Material ABS AH36	Yield Stress (MPa)	Design Operating Load Case		Design Environmental Load Case	
		Factor of Safety (FS)	Allowable Stress (MPa)	Factor of Safety (FS)	Allowable Stress (MPa)
Axial Bending Stress	355	1.67	212.57	1.25	284.00
Shear Stress	355	2.5	142.00	1.88	188.83

5.5 Eksekusi *Qualification Plan* dan Pembahasan

5.5.1 *Motion Response Analysis*

Untuk mengetahui bagaimana pola pergerakan dari lambung SPM dengan bentuk octagonal, maka perlu dilakukan analisa *motion response*. Beberapa variabel yang menggambarkan gerakan lambung SPM adalah:

1. *Added Inertia Coefficient*
2. *Linear Radiation Damping Coefficient*
3. *Linearised Wave Frequency Forces*
4. *Respond Amplitude Operators* (RAO)

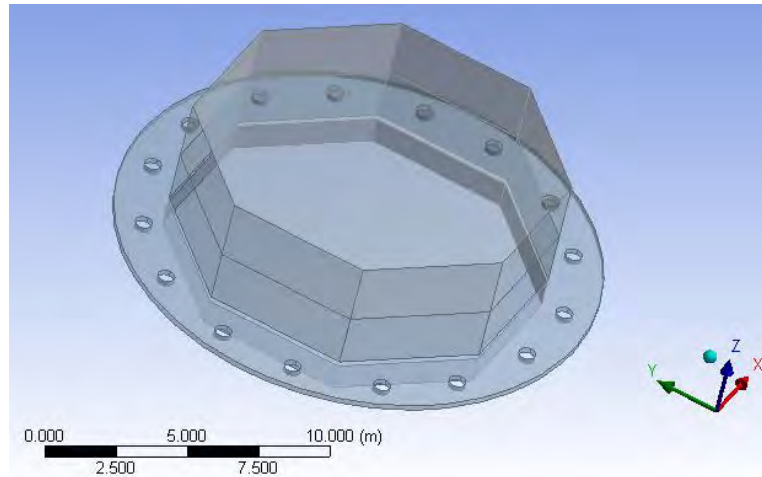
Respon pada lambung octagonal SPM akibat gelombang regular dalam setiap frekuensi, dapat diketahui dengan menggunakan metode *spectra*. Nilai *amplitude* pada suatu respon secara umum hampir sama dengan *amplitude* gelombang. Bentuk normal suatu respon dari sistem linier tidak berbeda dengan *amplitude* gelombang dalam fungsi frekuensi.

Response amplitude operator (RAO) atau sering disebut sebagai *transfer function* adalah fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur terapung. RAO disebut sebagai *transfer function* karena merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur.

Analisis spektrum gelombang dapat menggunakan beberapa teori spektrum gelombang yang telah ada, antara lain model spektrum JOSWAP, Pierson-Moskowitz, ISSC ataupun ITTC. Pemilihan struktur gelombang didasarkan pada kondisi nyata laut yang ditinjau. Bila tidak ada maka dapat digunakan model spektrum yang dikeluarkan oleh berbagai institusi dengan mempertimbangkan kesamaan fisik lingkungan. Dalam kondisi model matematis, penerapan spektrum biasanya menggunakan tunggal atau lebih parameter, misalnya *significant wave height* (H_s), periode gelombang (T), serta faktor permukaan (η). Pada penelitian ini, analisa yang digunakan adalah spectrum gelombang JONSWAP.

Analisa *Motion Response* dimulai dengan pembuatan model lambung SPM OCTA 03. Bentuk dan ukuran lambung disesuaikan dengan desain basis yang ada. *Tool* yang digunakan untuk analisa *Motion Response* adalah ANSYS Aqwa.

Namun, untuk pembuatan model lambung dibutuhkan bantuan dari software CAD (*Computer Aided Design*). Gambar 5-5 memperlihatkan bagaimana model lambung SPM OCTA 03 yang sudah jadi pada ANSYS Aqwa.

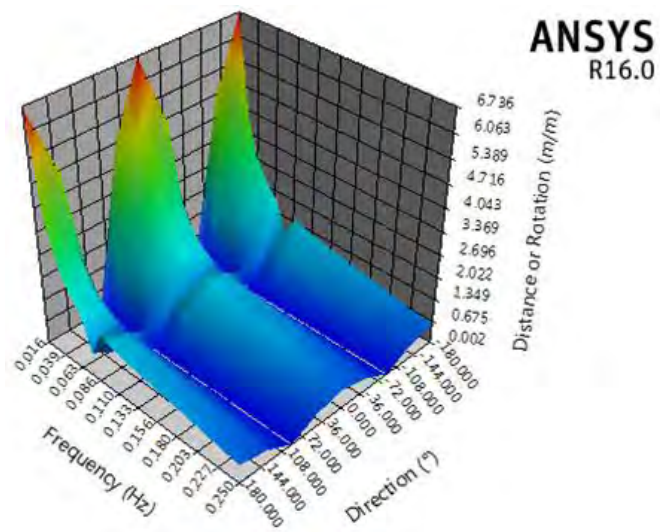


Gambar 5-5 Model lambung SPM pada ANSYS Aqwa

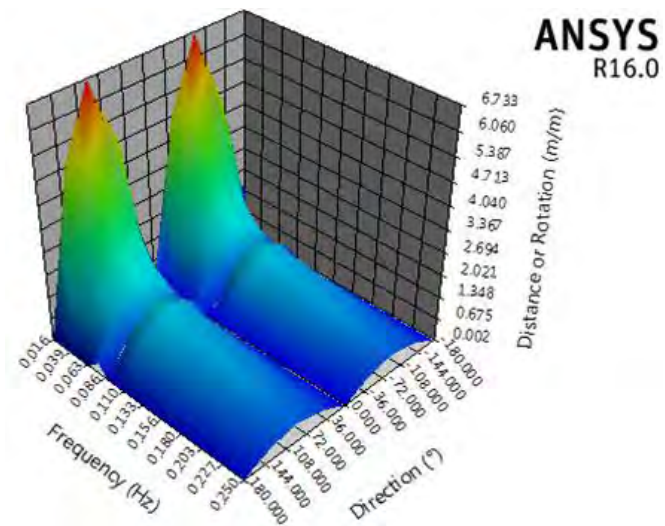
Pada analisa menggunakan software ANSYS Aqwa, model harus dibagi menjadi beberapa bagian elemen (*meshing*). Hal ini karena metode yang digunakan pada ANSYS Aqwa adalah *finite element method*. Semakin kecil elemen maka hasil dari perhitungan akan semakin akurat, namun waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan *running software* semakin lama.

Lambung SPM dianalisa dengan sarat kondisi operasional, 3.2 meter, displacemen sama dengan *light weigt* SPM atau dapat dikatakan SPM dalam kondisi terapung bebas (tidak terikat).

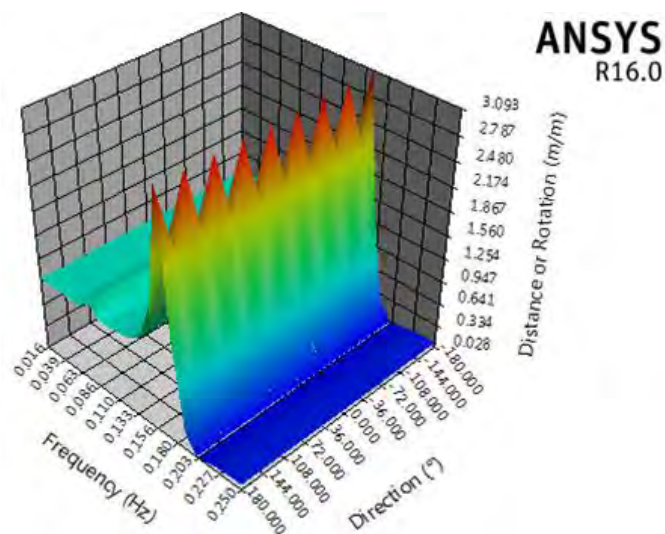
Hasil perhitungan pada analisa *Motion Response* berupa RAO ditampilkan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 5-6 sampai dengan Gambar 5-11 berikut. Hasil lengkapnya dapat dilihat pada bagian lampiran laporan penelitian ini.



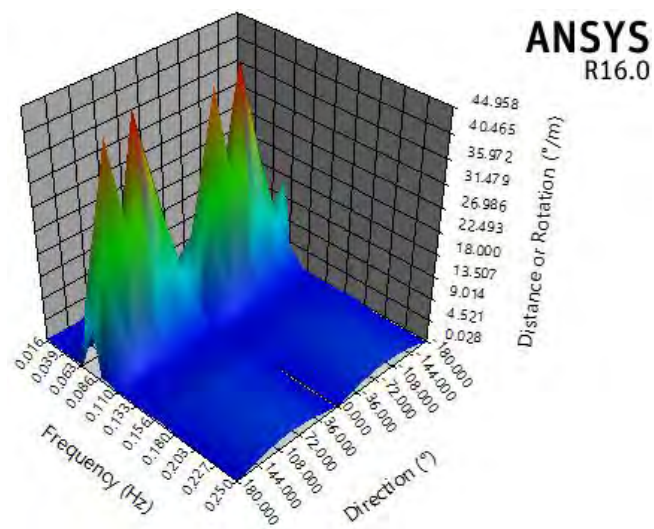
Gambar 5-6 RAO Surge motion



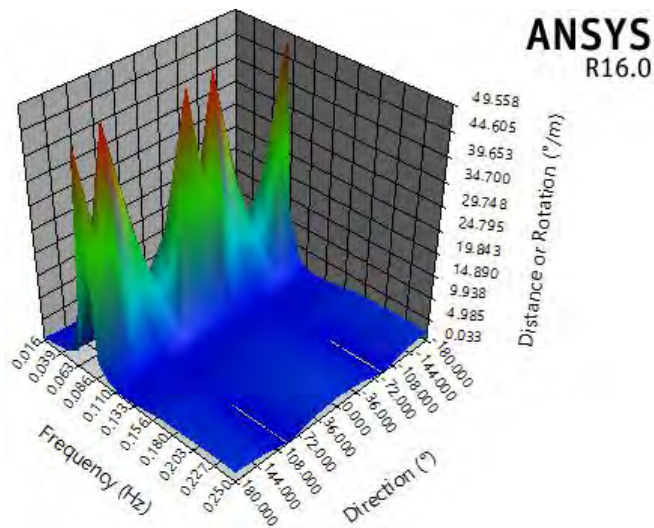
Gambar 5-7 RAO Sway motion



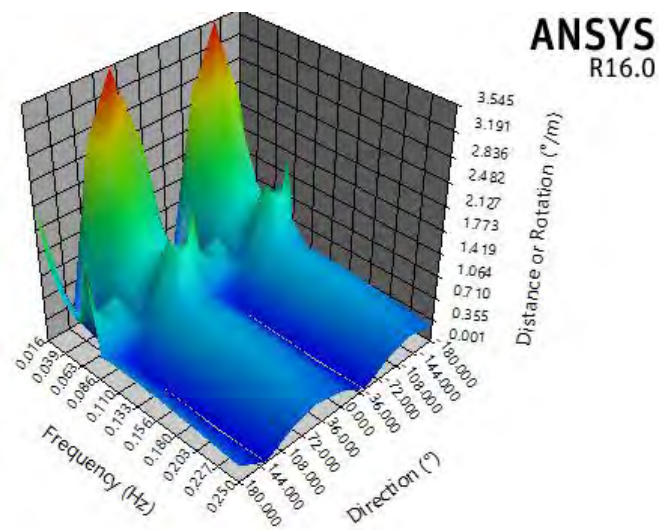
Gambar 5-8 RAO Heave motion



Gambar 5-9 RAO *Roll motion*



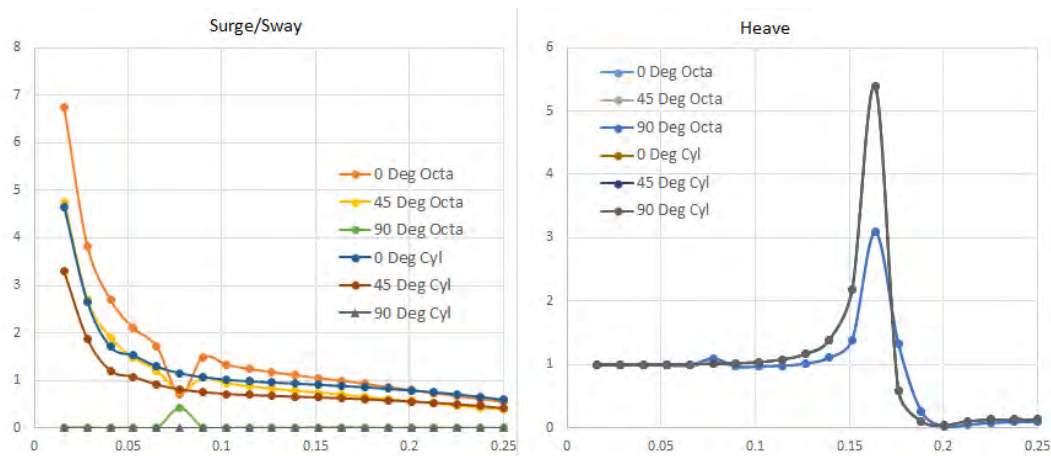
Gambar 5-10 RAO *Pitch motion*



Gambar 5-11 RAO *Yaw motion*

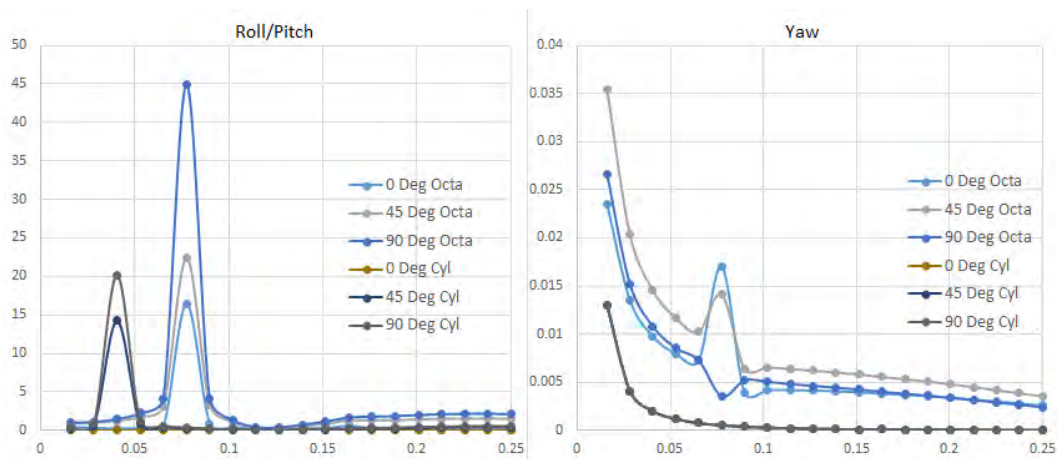
Dari hasil perhitungan RAO lambung octagonal SPM, dapat diketahui gerakan lambung akibat gelombang laut. Bentuk lambung SPM yang simetri menyebabkan hasil RAO (karakteristik) untuk gerakan *surge* dan *sway* serupa. Demikian juga untuk gerakan rotasi *roll* dan *pitch*. Yang membedakan hanya sudut *heading* gelombang yang mengenainya. Dari grafik RAO diketahui bahwa *response* lambung SPM dengan amplitudo besar cenderung pada frekuensi terendah. Hanya pada gerakan *heave* dimana amplitudo tertinggi terjadi pada frekuensi 1.33-1.88. RAO yang didapatkan dari analisa motion ini selanjutnya digunakan sebagai input untuk perhitungan *tension* yang terjadi pada *chain leg* SPM.

Sebelum digunakan untuk tahap analisa berikutnya, RAO yang dihasilkan dari analisa *motion response* perlu diverifikasi/validasi kebenarannya. Untuk mengetahui ketepatan hasil yang didapatkan, maka dilakukan perbandingan dengan RAO pada model sederhana SPM dengan bentuk silinder. Dari komparasi yang dilakukan didapatkan RAO seperti terlihat pada Gambar 5-12 berikut.



Gambar 5-12. Perbandingan RAO gerakan translasi (Octagonal vs Silinder)

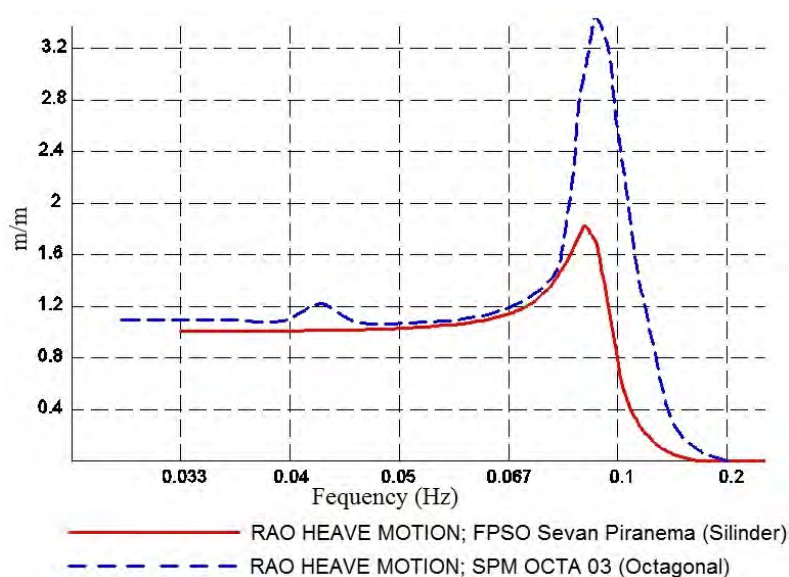
Pada gerakan translasi, RAO yang didapatkan dari kedua model ini memiliki *tendline* yang serupa. Untuk gerakan *surge* dan *sway* RAO sama, akibat dari bentuk lambung yang simetri antara bagian haluan/buritan dan bagian sisi kanan/kiri. Pada gerakan *heave*, lambung dengan bentuk octagonal memiliki RAO yang lebih baik, respon gerak dari lambung cenderung lebih kecil. Untuk gerakan rotasi (*roll, pitch, yaw*) RAO dapat dilihat pada Gambar 5-13 berikut.



Gambar 5-13 Perbandingan RAO gerakan rotasi (Octagonal vs Silinder)

Dari hasil perbandingan RAO antara bentuk lambung octagonal dengan bentuk silinder, diketahui bahwa RAO gerakan translasi maupun gerakan rotasi memiliki memiliki *trendline* yang serupa.

Untuk memberikan verifikasi lebih lanjut mengenai ketepatan perhitungan RAO yang telah dilakukan, perlu dilakukan komparasi dengan hasil penelitian yang sudah ada. Sebuah penelitian mengenai *motion response* dari sebuah bangunan terapung di laut yang memiliki kesamaan prinsip yaitu penelitian terhadap sebuah FPSO berbentuk silinder, FPSO “Sevan Piranema”. Komparasi dilakukan antara RAO gerakan *heave* dari lambung octagonal SPM OCTA 03 terhadap RAO gerakan *heave* dari lambung FPSO “Sevan Piranema”.



Gambar 5-14 Komparasi RAO gerakan heave

Sumber: (Saad A. C., 2009)

Dari hasil komparasi yang telah dilakukan, didapatkan bahwa RAO gerakan translasi maupun gerakan rotasi memiliki *trendline* yang serupa. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa permodelan dan penghitungan pada analisa *motion response* dapat diverifikasi kebenarannya.

5.5.2 Chain Leg Tension Analysis

Analisa *Chain leg tension* pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *combined time and frequency domain approach* untuk menganalisa gerak dinamik lambung SPM serta menggunakan metode *quasi-static analysis* dan *dynamic analysis* untuk memprediksi beban dinamik *mooring*. Kedua metode tersebut digunakan sebagai metode pada software Orcaflex yang digunakan sebagai *tools* dalam penelitian ini untuk menganalisa *chain leg tension* pada SPM.

API RP2SK mensyaratkan analisa *chain leg tension* pada dua kondisi, yaitu kondisi operasional (*Operation condition*) dan kondisi cuaca ekstrim (*Design/storm condition*). Pada kondisi operasional, analisa *chain leg tension* dilakukan dengan memperhitungkan kapal yang bertambat pada SPM, sedangkan pada kondisi cuaca ekstrim diasumsikan bahwa kapal tanker tidak bertambat pada SPM.

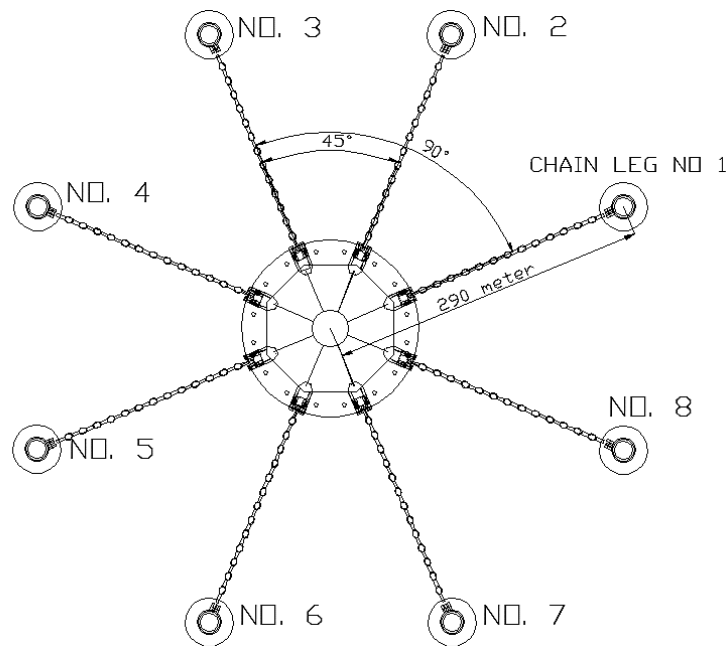
Analisa *chain leg tension* pada kondisi operasional, menggunakan data lingkungan laut 10 tahun *return period*, sedangkan pada kondisi cuaca ekstrim, menggunakan data lingkungan 100 tahun *return period*. Data disajikan pada Tabel 5-7 berikut.

Tabel 5-7 Data lingkungan laut

No.	Item	10 tahun (operasional)	100 tahun (Ekstrim)	Unit
1	Significant Wave Height (Hs)	2.3	2.6	m
2	Wave Peak Period (Tp)	6.9	7.3	s
3	Kecepatan angin	15.2	17.5	m/s
4	Surface Current Velocity	0.49	0.51	m/s

Dari desain basis, diketahui bahwa SPM OCTA 03 akan digunakan di perairan dangkal dengan kedalaman dasar laut 35 meter. Dari data yang ada direncanakan *mooring layout* untuk SPM seperti terlihat pada Gambar 5-15, dengan

jarak aksial dari pusat lambung SPM ke ujung masing-masing jangkar 290 meter. Sudut *exit chain* dari *chain stopper* 35 deg.



Gambar 5-15 Mooring Layout SPM OCTA 03

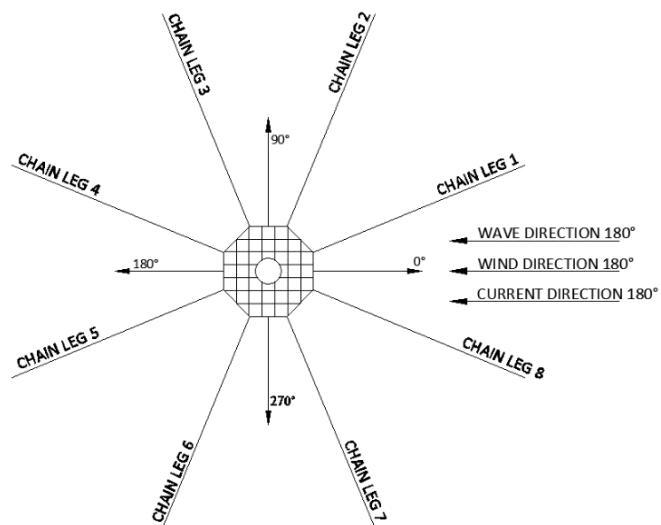
a. Analisa *chain tension* pada kondisi cuaca ekstrim.

Analisa tension chain leg pada kondisi cuaca ekstrim menggunakan data lingkungan laut 100 tahun (*return period*). Untuk mendapatkan kemungkinan *tension* maksimal yang terjadi pada kondisi cuaca ekstrim (tanpa kapal tanker) analisa dilakukan dengan beberapa load case seperti disajikan pada Tabel 5-8 berikut.

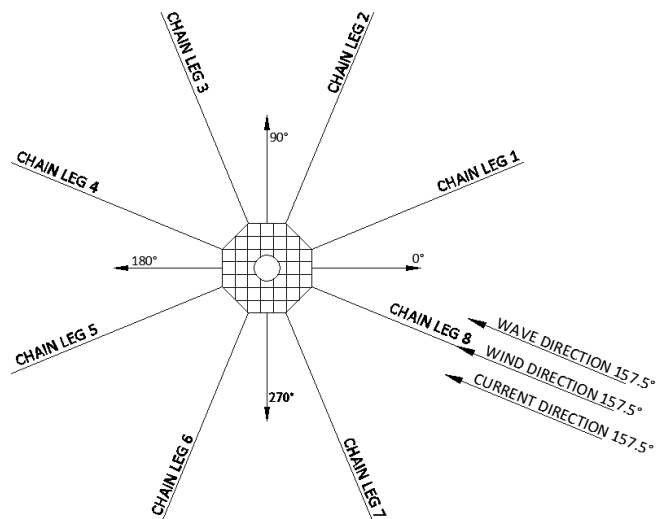
Tabel 5-8 Load Cases Analisa Chain Tension kondisi cuaca ekstrim

Kondisi Chain Leg		Variasi Sudut datang Gelombang, Arus dan Angin		Index
A	Semua rantai terpasang (<i>Intact</i>)	1	Heading Wave, Current & Wind to 180	A.1
		2	Heading Wave, Current & Wind to 157.5	A.2
B	Satu rantai putus (<i>Chine 8 Damage</i>)	1	Heading Wave, Current & Wind to 180	B.1
		2	Heading Wave, Current & Wind to 157.5	B.2

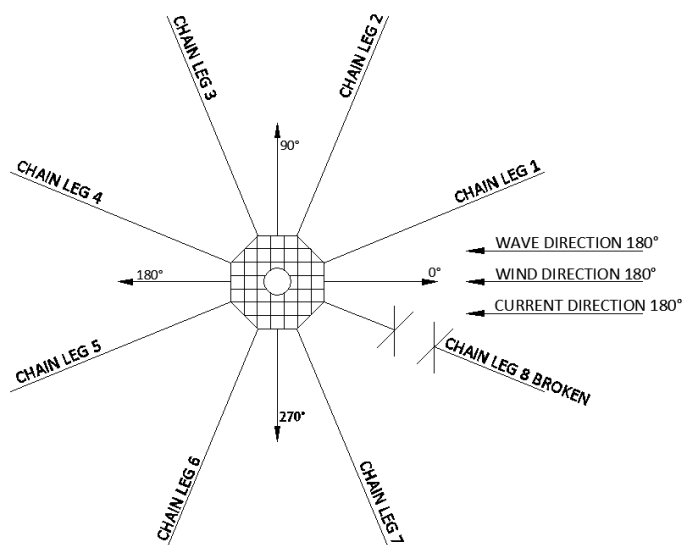
Load case analisa *Chain Tension* SPM pada kondisi cuaca ekstrim yang telah disebutkan pada Tabel 5-8 untuk lebih jelasnya ditampilkan pada gambar-gambar berikut.



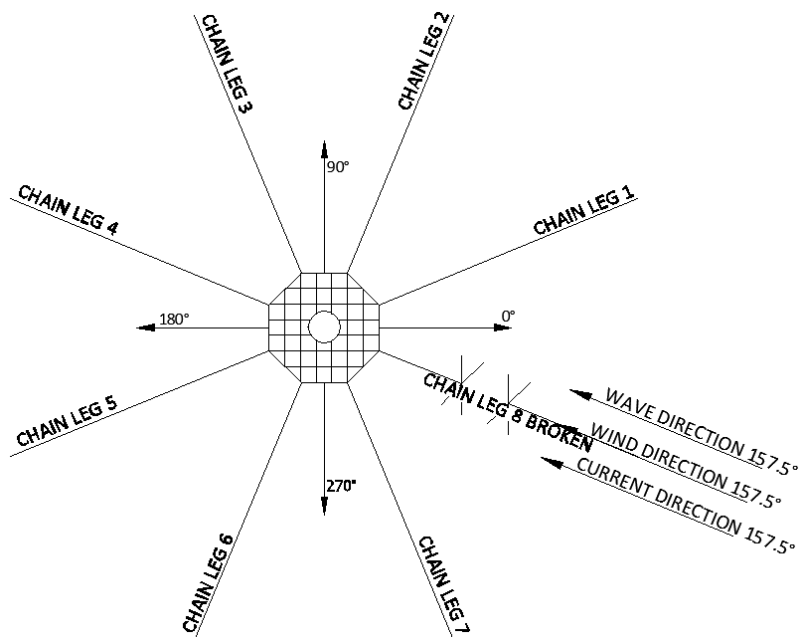
Gambar 5-16 Load case kondisi ekstim A.1.



Gambar 5-17 Load case kondisi ekstim A.2.

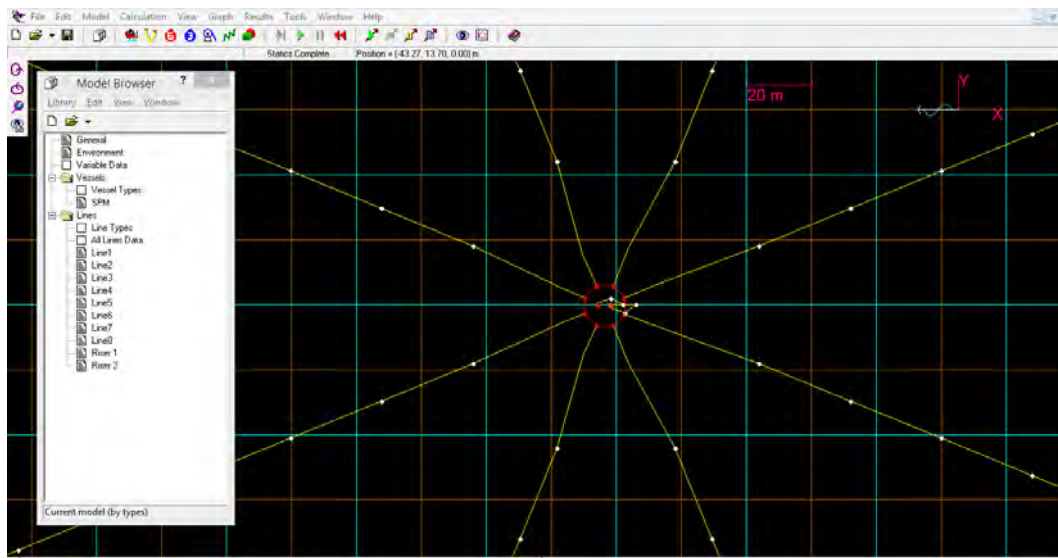


Gambar 5-18 Load case kondisi ekstim B.1.



Gambar 5-19 Load case kondisi ekstrim B.2.

Semua jenis load case yang direncanakan, dimodelkan dalam tools perhitungan, yaitu software Orcaflex. Gambar 5-20 menunjukkan contoh tampilan Orcaflex sesaat sebelum analisa (*running*) dilakukan.



Gambar 5-20 Tampilan tool Orcaflex

Besarnya *safety factor* yang didapatkan dari analisa pada *chain leg* harus lebih kecil dari *allowable safety factor* yang diadopsi dari rules ABS. Harga *mooring lines safety factor* merupakan *ratio* nilai minimum *breaking load* setelah korosi dan nilai *actual line tension* untuk analisa dinamis.

Hasil perhitungan *Tension* pada masing-masing *load case* ditampilkan pada Tabel 5-9 dan Tabel 5-10 di bawah ini.

Tabel 5-9 *Tension* pada kondisi ekstrim *load case* A.1. dan A.2.

CASE (A.1.)	MOORING LINE	Tension (kN)		CASE (A.2.)	MOORING LINE	Tension (kN)	
		END A (SPM)	END B (Seabed)			END A (SPM)	END B (Seabed)
Storm Condition, Intact Line, Heading 180°	Chain - 1	559.28	284.94	Storm Condition, Intact Line, Heading 157.5°	Chain - 1	479.06	188.08
	Chain - 2	419.95	124.16		Chain - 2	396.72	118.97
	Chain - 3	410.56	186.80		Chain - 3	421.00	238.14
	Chain - 4	428.85	269.28		Chain - 4	431.52	275.58
	Chain - 5	418.47	259.42		Chain - 5	405.38	229.42
	Chain - 6	378.29	153.86		Chain - 6	372.66	96.46
	Chain - 7	381.18	80.57		Chain - 7	451.53	162.13
	Chain - 8	536.09	260.77		Chain - 8	553.23	275.01
	Riser 1	63.62	2.77		Riser 1	69.49	2.77
	Riser 2	62.88	2.78		Riser 2	68.45	2.80

Tabel 5-10 *Tension* pada kondisi ekstrim *load case* B.1. dan B.2.

CASE (B.1.)	MOORING LINE	Tension (kN)		CASE (B.2.)	MOORING LINE	Tension (kN)	
		END A (SPM)	END B (Seabed)			END A (SPM)	END B (Seabed)
Storm Condition, 1 Line Damage, Heading 180°	Chain - 1	684.92	387.86	Storm Condition, 1 Line Damage, Heading 157.5°	Chain - 1	578.60	272.14
	Chain - 2	411.00	117.15		Chain - 2	393.76	105.80
	Chain - 3	359.92	172.07		Chain - 3	374.77	228.11
	Chain - 4	370.97	257.92		Chain - 4	369.87	267.45
	Chain - 5	381.74	251.36		Chain - 5	361.64	219.77
	Chain - 6	380.81	137.44		Chain - 6	370.59	82.78
	Chain - 7	452.60	122.07		Chain - 7	549.52	230.05
	Chain - 8	-	-		Chain - 8	-	-
	Riser 1	71.24	2.81		Riser 1	73.17	3.54
	Riser 2	68.80	2.82		Riser 2	71.07	2.75

Pada kondisi cuaca lingkungan yang ekstrim, *tension* pada *chain leg* di analisa dengan keadaan SPM berdiri sendiri tanpa adanya tanker yang bertambat. *Tension* yang terjadi akibat respons gerak lambung SPM akibat gelombang, angin dan arus yang terjadi. RAO dari lambung octagonal SPM, menunjukkan pergerakan lambung SPM akibat gelombang dengan amplitudo tertentu dengan rentang frekuensi yang ada. Semakin besar RAO dari lambung SPM akan berkontribusi penuh pada besarnya *tension* yang terjadi pada *chain leg* SPM.

Dari hasil perhitungan *tension chain leg* pada kondisi lingkungan ekstrim, didapatkan bahwa *tension* tertinggi pada *load case* B.1., yaitu *heading* gelombang, arus dan angin 180°, dan salah satu rantai pada kondisi *damage*, 684.92 kN. Tension tertinggi terjadi pada *chain leg* no. 1, yang letaknya berada pada arah datangnya gelombang, arus dan angin.

Heading gelombang, arus dan angin menyebabkan gerakan *surge*, *heave*, *sway*, dan lainnya yang menarik lambung SPM searah *heading*, sehingga *chain leg* no. 1 dan no. 8 yang letaknya dari arah *heading* menahan gerakan lambung SPM. *Chain leg* no. 8 pada *load case* ini mengalami *damage*, sehingga beban terbesar hanya ditahan oleh *chain leg* no. 1. Inilah yang menyebabkan *tension* tertinggi terjadi pada *chain leg* no. 1.

b. Analisa *chain tension* SPM pada kondisi operasional

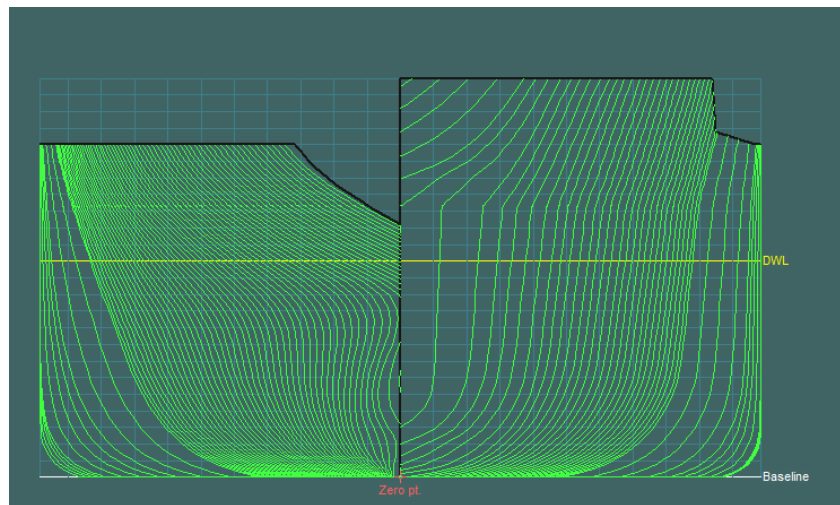
Pada kondisi operasional, SPM didesain untuk proses *loading/unloading* pada kapal tanker 125.000 DWT. Kapal tanker yang bertambat pada SPM dianalisa dalam dua kondisi muatan, yaitu kondisi muatan penuh dan pada kondisi *ballast*. Data kapal yang digunakan untuk simulasi pada analisa *chain tension* diberikan pada Tabel 5-11 berikut.

Tabel 5-11 Data kapal Tanker

Item	Full Load	Ballast Load
Length between Perpendiculars	: 272.000 m	: 272.000 m
Breadth Moulded	: 43.400 m	: 43.400 m
Depth Moulded	: 20.600 m	: 20.600 m
Draft mean	: 12.878 m	: 8.490 m
Draft Fwd	: 12.878 m	: 8.490 m
Draft Aft	: 12.878 m	: 8.490 m
Displacement	: 127134 tones	: 81992 tones

Data RAO dari kapal tanker dijadikan input pada analisa *chain tension* pada kondisi operasional. RAO dari badan kapal dihitung dalam dua kondisi, muatan penuh dan kondisi *ballast*. RAO tanker dapat dilihat pada lampiran laporan penelitian ini.

RAO tanker dipengaruhi oleh bentuk lambung dan ukuran nya. Untuk mengetahui tipikal bentuk lambung tanker, dapat dilihat pada Gambar 5-21.



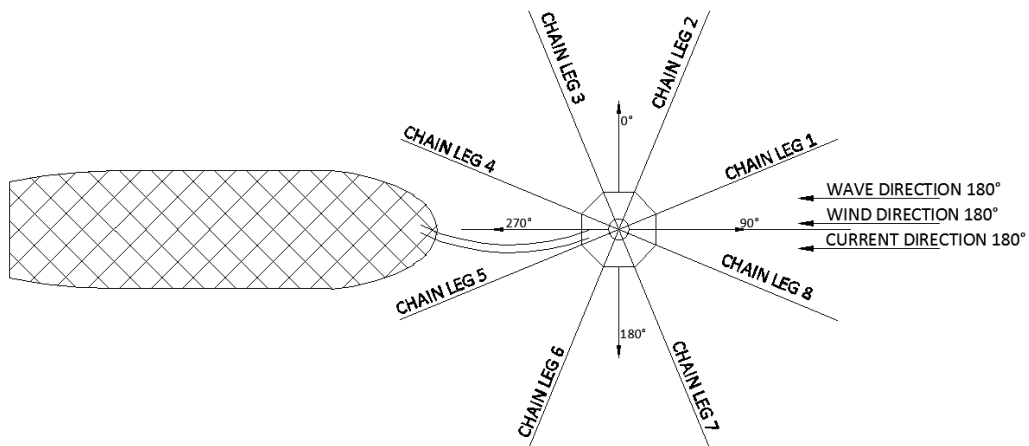
Gambar 5-21 Body plan tanker 125.000 DWT

Untuk mengetahui tension maksimal dari *chail leg* SPM, analisa dilakukan dalam beberapa *load case*. Variasi *load case* dibedakan berdasarkan kondisi muatan tanker, kondisi *chain leg* SPM dan arah datangnya gelombang, arus dan angin di laut. Tabel 5-12 menunjukkan *load case* pada analisa chain tension SPM kondisi operasional.

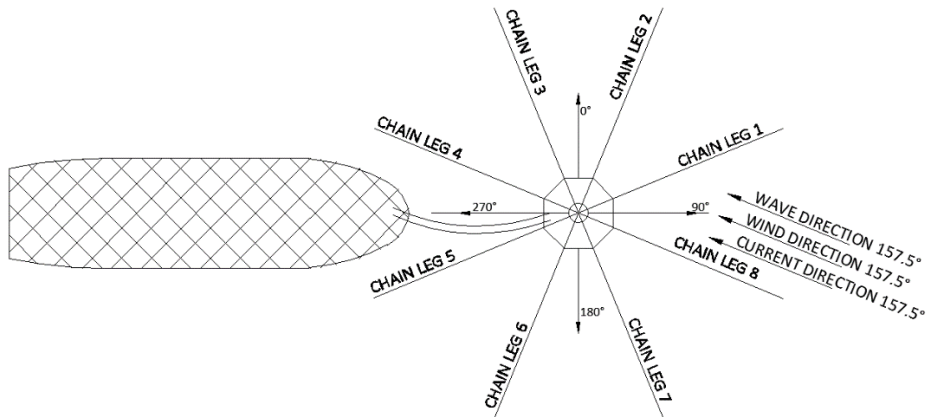
Tabel 5-12 Load case analisa chain tension pada SPM kondisi operasional

		Kondisi chain leg	Kondisi muatan	Arah wave, current, wind	Index
A	COLINIER	1 Intact	1 Full Load	1 Heading to 180	A.1.1.1
				2 Heading to 157.5	A.1.1.2
			2 Ballast Load	1 Heading to 180	A.1.2.1
				2 Heading to 157.5	A.1.2.2
		2 One Line Damage	1 Full Load	1 Heading to 180	A.2.1.1
				2 Heading to 157.5	A.2.1.2
			2 Ballast Load	1 Heading to 180	A.2.2.1
				2 Heading to 157.5	A.2.2.2
B	NON COLINIER	1 Intact	1 Full Load	1 Heading to 180 Wind 157.5	B.1.1.1
				2 Heading to 180 Wind 135	B.1.1.2
			2 Ballast Load	1 Heading to 180 Wind 150	B.1.2.1
				2 Heading to 180 Wind 135	B.1.2.2
		2 One Line Damage	1 Full Load	1 Heading to 180 Wind 150	B.2.1.1
				2 Heading to 180 Wind 135	B.2.1.2
			2 Ballast Load	1 Heading to 180 Wind 150	B.2.2.1
				2 Heading to 180 Wind 135	B.2.2.2

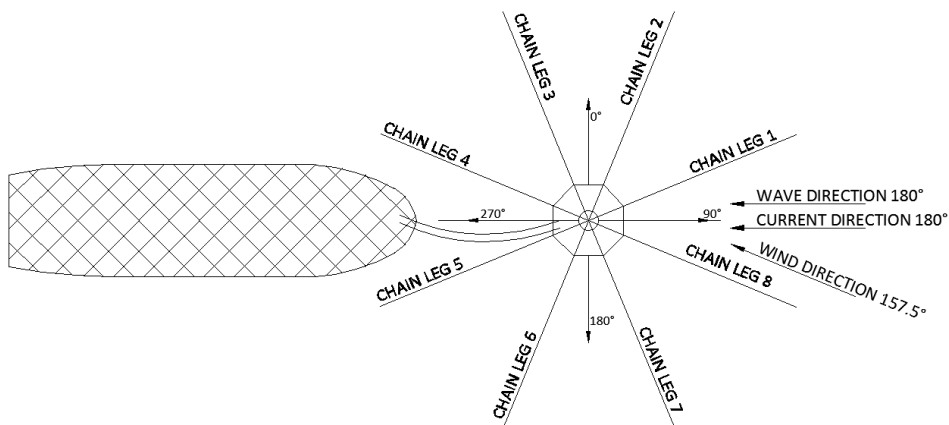
Sebagai gambaran mengenai *load case* pada analisa *chain tension* SPM kondisi operasional, diberikan *layout* dari beberapa *load case* pada gambar dibawah ini.



Gambar 5-22 Load case ‘Colinier’ (wave, current & wind direction to 180°)

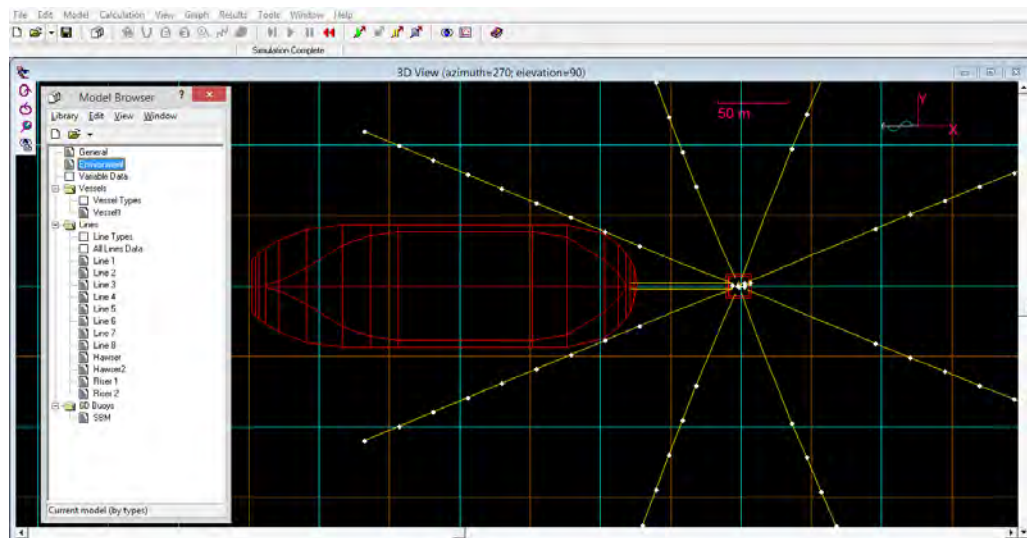


Gambar 5-23 Load case ‘Colinier’ (wave, current & wind direction to 157.5°)



Gambar 5-24 Load case ‘Non Colinier’ (wave, current direction to 180° & wind direction to 157.5°)

Semua jenis *load case* yang direncanakan, dimodelkan dalam *tools* perhitungan, yaitu software Orcaflex. Gambar 5-25 menunjukkan contoh tampilan Orcaflex sesaat sebelum analisa (*running*) dilakukan.



Gambar 5-25 Analisa *chain tension* SPM kondisi operasional

Hasil perhitungan *tension* SPM pada kondisi operasional masing-masing *load case* ditampilkan pada Tabel 5-13 sampai Tabel 5-20 di bawah ini.

Tabel 5-13 *Tension* pada kondisi operasional *load case* A.1.1.1 dan A.1.1.2.

CASE (A.1.1.1)	MOORING LINE	Tension (kN)		CASE (A.1.1.2)	MOORING LINE	Tension (kN)	
		END A (SPM)	END B			END A (SPM)	END B
Operational Condition, Colinier, Intact, Full Load, 180deg	Chain - 1	1032.349	799.585	Operational Condition, Colinier, Intact, Full Load, 157.5deg	Chain - 1	818.526	574.299
	Chain - 2	608.809	349.383		Chain - 2	482.708	189.509
	Chain - 3	625.673	482.871		Chain - 3	727.043	555.637
	Chain - 4	747.088	516.613		Chain - 4	771.121	590.265
	Chain - 5	748.331	516.387		Chain - 5	703.273	520.153
	Chain - 6	630.923	489.999		Chain - 6	484.867	187.443
	Chain - 7	610.045	350.643		Chain - 7	826.646	584.522
	Chain - 8	1032.277	800.704		Chain - 8	1118.312	875.255
	Hawser 1	840.744	917.905		Hawser 1	847.019	940.494
	Hawser 2	807.397	899.613		Hawser 2	717.140	558.720
	Riser 1	70.927	2.731		Riser 1	69.465	2.732
	Riser 2	82.022	2.725		Riser 2	77.530	2.730

Tabel 5-14 Tension pada kondisi operasional load case A.1.2.1 dan A.1.2.2.

CASE (A.1.2.1)	MOORING LINE	Tension (kN)		CASE (A.1.2.2)	MOORING LINE	Tension (kN)	
		END A (SPM)	END B			END A (SPM)	END B
Operational Condition, Colinier, Intact, Ballast Load, 180deg	Chain - 1	1018.617	778.732	Operational Condition, Colinier, Intact, Ballast Load, 157.5deg	Chain - 1	843.913	597.641
	Chain - 2	638.533	415.817		Chain - 2	494.569	181.039
	Chain - 3	599.807	395.556		Chain - 3	680.741	506.868
	Chain - 4	709.023	463.845		Chain - 4	788.590	585.771
	Chain - 5	709.675	463.982		Chain - 5	686.506	533.782
	Chain - 6	599.974	395.576		Chain - 6	490.216	178.910
	Chain - 7	638.122	414.916		Chain - 7	842.003	603.924
	Chain - 8	1017.445	776.877		Chain - 8	1125.050	867.736
	Hawser 1	828.659	947.661		Hawser 1	826.161	1066.403
	Hawser 2	773.715	865.989		Hawser 2	697.134	768.580
	Riser 1	70.282	2.727		Riser 1	69.710	2.722
	Riser 2	78.943	2.725		Riser 2	76.426	2.722

Tabel 5-15 Tension pada kondisi operasional load case A.2.1.1 dan A.2.1.2.

CASE (A.2.1.1)	MOORING LINE	Tension (kN)		CASE (A.2.1.2)	MOORING LINE	Tension (kN)	
		END A (SPM)	END B			END A (SPM)	END B
Operational Condition, Colinier, Damage 1 Line, Full Load, 180deg	Chain - 1	1547.247	1307.598	Operational Condition, Colinier, Damage 1 Line, Full Load, 157.5deg	Chain - 1	1304.547	1056.839
	Chain - 2	647.929	397.732		Chain - 2	521.232	216.269
	Chain - 3	566.825	383.065		Chain - 3	708.421	391.548
	Chain - 4	872.168	372.396		Chain - 4	1126.843	387.936
	Chain - 5	851.413	393.810		Chain - 5	709.811	373.883
	Chain - 6	607.117	367.633		Chain - 6	521.453	215.704
	Chain - 7	939.225	706.511		Chain - 7	1282.103	1043.608
	Chain - 8	x	x		Chain - 8	x	x
	Hawser 1	906.520	997.984		Hawser 1	975.500	1053.715
	Hawser 2	864.779	849.849		Hawser 2	926.187	738.139
	Riser 1	71.897	2.741		Riser 1	69.115	2.775
	Riser 2	88.189	2.794		Riser 2	88.656	2.757

Tabel 5-16 Tension pada kondisi operasional load case A.2.2.1 dan A.2.2.2.

CASE (A.2.2.1)	MOORING LINE	Tension (kN)		CASE (A.2.2.2)	MOORING LINE	Tension (kN)	
		END A (SPM)	END B			END A (SPM)	END B
Operational Condition, Colinier, Damage 1 Line, Ballast Load, 180deg	Chain - 1	1546.346	1310.125	Operational Condition, Colinier, Damage 1 Line, Ballast Load, 157.5deg	Chain - 1	1300.093	1051.356
	Chain - 2	649.469	401.451		Chain - 2	520.136	214.591
	Chain - 3	566.235	346.916		Chain - 3	721.280	494.552
	Chain - 4	878.019	443.403		Chain - 4	1141.432	485.290
	Chain - 5	860.452	470.744		Chain - 5	723.695	480.892
	Chain - 6	605.024	368.262		Chain - 6	533.197	224.359
	Chain - 7	940.954	712.432		Chain - 7	1282.395	1040.252
	Chain - 8	x	x		Chain - 8	x	x
	Hawser 1	914.000	1263.120		Hawser 1	948.476	1115.036
	Hawser 2	800.426	1039.827		Hawser 2	790.562	920.758
	Riser 1	71.481	2.746		Riser 1	65.600	2.777
	Riser 2	85.373	2.785		Riser 2	88.186	2.757

Tabel 5-17 Tension pada kondisi operasional load case B.1.1.1 dan B.1.1.2.

CASE (B.1.1.1)	MOORING LINE	Tension (kN)		CASE (B.1.1.2)	MOORING LINE	Tension (kN)	
		END A (SPM)	END B			END A (SPM)	END B
Operational Condition, Non Colinier, Intact, Full Load, Wave & Current 180deg, Wind 157,5	Chain - 1	960.511	773.321	Operational Condition, Non Colinier, Intact, Full Load, Wave & Current 180deg, Wind 135	Chain - 1	954.934	776.458
	Chain - 2	628.096	443.359		Chain - 2	623.026	438.522
	Chain - 3	613.230	465.598		Chain - 3	620.568	463.732
	Chain - 4	739.812	523.725		Chain - 4	765.830	554.545
	Chain - 5	732.078	524.950		Chain - 5	753.793	557.340
	Chain - 6	620.494	479.626		Chain - 6	632.804	497.384
	Chain - 7	635.552	454.891		Chain - 7	643.163	476.817
	Chain - 8	965.654	762.339		Chain - 8	967.049	766.875
	Hawser 1	885.267	762.969		Hawser 1	875.777	834.444
	Hawser 2	804.348	613.449		Hawser 2	807.753	600.453
	Riser 1	77.567	2.731		Riser 1	77.344	2.731
	Riser 2	82.578	2.729		Riser 2	82.099	2.728

Tabel 5-18 Tension pada kondisi operasional load case B.1.2.1 dan B.1.2.2.

CASE (B.1.2.1)	MOORING LINE	Tension (kN)		CASE (B.1.2.2)	MOORING LINE	Tension (kN)	
		END A (SPM)	END B			END A (SPM)	END B
Operational Condition, Non Colinier, Intact, Ballast Load, Wave & Current 180deg, Wind 157,5	Chain - 1	1018.186	777.145	Operational Condition, Non Colinier, Intact, Ballast Load, Wave & Current 180deg, Wind 135	Chain - 1	1025.184	787.148
	Chain - 2	644.875	412.960		Chain - 2	654.783	414.782
	Chain - 3	601.082	406.557		Chain - 3	603.401	408.856
	Chain - 4	711.070	505.357		Chain - 4	716.563	527.705
	Chain - 5	702.902	483.342		Chain - 5	718.209	521.880
	Chain - 6	595.777	383.605		Chain - 6	570.108	355.036
	Chain - 7	633.583	402.408		Chain - 7	627.474	412.602
	Chain - 8	1011.390	770.104		Chain - 8	1015.279	772.995
	Hawser 1	808.965	981.128		Hawser 1	877.312	1081.907
	Hawser 2	839.625	910.803		Hawser 2	788.695	930.169
	Riser 1	72.187	2.726		Riser 1	71.233	2.724
	Riser 2	78.815	2.726		Riser 2	79.529	2.741

Tabel 5-19 Tension pada kondisi operasional load case B.2.1.1 dan B.2.1.2.

CASE (B.2.1.1)	MOORING LINE	Tension (kN)		CASE (B.2.1.2)	MOORING LINE	Tension (kN)	
		END A (SPM)	END B			END A (SPM)	END B
Operational Condition, Non Colinier, Damage 1 Line, Full Load, Wave & Current 180deg, Wind 157,5	Chain - 1	1481.813	1252.266	Operational Condition, Non Colinier, Damage 1 Line, Full Load, Wave & Current 180deg, Wind 135	Chain - 1	1477.886	1252.190
	Chain - 2	635.724	395.186		Chain - 2	632.937	395.919
	Chain - 3	600.947	378.248		Chain - 3	596.183	364.972
	Chain - 4	906.078	394.063		Chain - 4	888.744	397.528
	Chain - 5	847.577	386.228		Chain - 5	835.471	402.024
	Chain - 6	592.035	403.488		Chain - 6	594.755	417.757
	Chain - 7	912.359	667.785		Chain - 7	918.156	675.091
	Chain - 8	x	x		Chain - 8	x	x
	Hawser 1	887.003	987.688		Hawser 1	854.179	1020.444
	Hawser 2	925.319	802.212		Hawser 2	955.559	759.043
	Riser 1	74.899	2.736		Riser 1	75.702	2.739
	Riser 2	84.773	2.741		Riser 2	85.086	2.744

Tabel 5-20 Tension pada kondisi operasional load case B.2.2.1 dan B.2.2.2.

CASE (B.2.2.1)	MOORING LINE	Tension (kN)		CASE (B.2.2.2)	MOORING LINE	Tension (kN)	
		END A (SPM)	END B			END A (SPM)	END B
Operational Condition, Non Colinier, Damage 1 Line, Ballast Load, Wave & Current 180deg, Wind 157,5	Chain - 1	1541.037	1305.691	Operational Condition, Non Colinier, Damage 1 Line, Ballast Load, Wave & Current 180deg, Wind 135	Chain - 1	1545.448	1308.881
	Chain - 2	654.111	404.266		Chain - 2	662.146	403.542
	Chain - 3	564.704	341.281		Chain - 3	577.307	352.017
	Chain - 4	888.709	454.185		Chain - 4	884.711	462.265
	Chain - 5	863.148	475.456		Chain - 5	858.303	477.212
	Chain - 6	609.432	347.196		Chain - 6	617.970	342.438
	Chain - 7	933.665	695.974		Chain - 7	932.952	690.116
	Chain - 8	x	x		Chain - 8	x	x
	Hawser 1	888.605	1155.791		Hawser 1	838.932	1109.758
	Hawser 2	786.070	1030.676		Hawser 2	819.954	906.725
	Riser 1	71.244	2.745		Riser 1	71.312	2.747
	Riser 2	85.345	2.797		Riser 2	86.057	2.802

Dari hasil perhitungan *tension chain leg* pada kondisi operasional, didapatkan bahwa *tension* tertinggi pada *load case* A.2.1.1., yaitu *heading* gelombang, arus dan angin 180°, tanker yang bertambat dalam kondisi *full load* dan salah satu *chain leg* SPM pada kondisi *damage*, 1547.247 kN. *Tension* tertinggi terjadi pada *chain leg* no. 1, yang letaknya berada pada arah datangnya gelombang, arus dan angin.

Heading gelombang, arus dan angin menyebabkan gerakan *surge*, *heave*, *sway*, dan lainnya yang menarik lambung tanker beserta SPM searah *heading*, sehingga *chain leg* no. 1 dan no. 8 yang letaknya dari arah *heading* menahan gerakan lambung SPM. *Chain leg* no. 8 pada *load case* ini mengalami *damage*, sehingga beban terbesar hanya ditahan oleh *chain leg* no. 1. Kondisi muatan tanker yang *full load* memberikan kontribusi besar pada *tension* yang terjadi pada *chain leg* SPM. Energi akibat gerakan lambung tanker menjadi semakin besar dan sulit diredam. Inilah yang menyebabkan *tension* tertinggi terjadi pada *chain leg* no. 1.

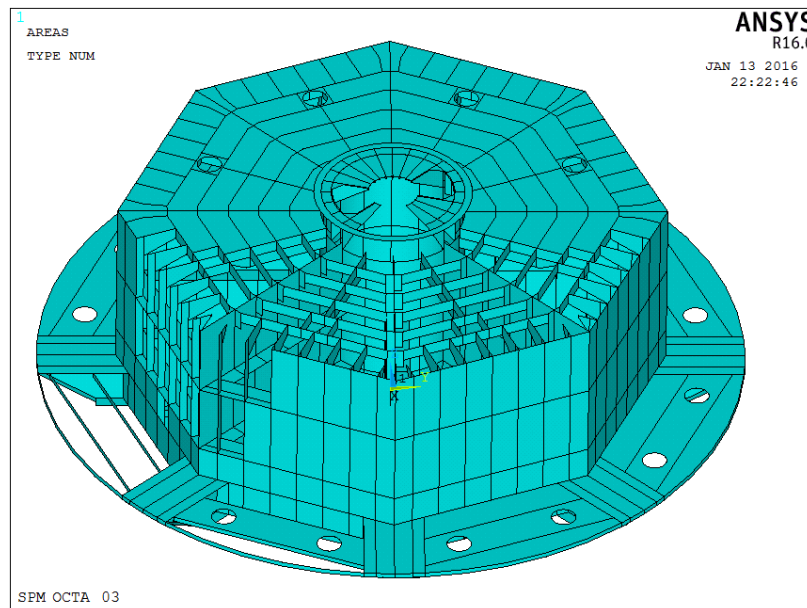
5.5.3 Structural Analysis

Analisa struktur bertujuan untuk memastikan bahwa struktur lambung SPM mampu mengatasi adanya risiko kegagalan akibat pembebanan maupun tegangan yang terjadi. Apabila struktur atau konstruksi lambung tidak mampu menahan beban yang terjadi, tegangan pada struktur melebihi tegangan ijin dari

material yang digunakan, maka dapat mengakibatkan terjadinya kegagalan, seperti deformasi, robekan atau patah.

Beban yang diterima lambung SPM pada kondisi lingkungan ekstrim (badai), telah dihitung dan diidentifikasi pada langkah sebelumnya. Pada analisa ini diteliti bagaimanakah pengaruh beban tersebut pada struktur lambung SPM. Ukuran konstruksi lambung SPM OCTA 03 telah diketahui dari desain basis pada tahapan *qualification basis*.

Analisa struktur dilakukan dengan metode elemen hingga, dengan bantuan software komputer yaitu ANSYS Structure (Mechanical APDL). Konstruksi lambung dimodelkan langsung dalam software ini. Pelat, penegar dan juga penumpu yang menjadi komponen utama struktur dimodelkan dengan akurat. Permodelan dilakukan menggunakan elemen *shell*, jadi pelat baja diasumsikan sebagai lembaran yang memiliki ketebalan.



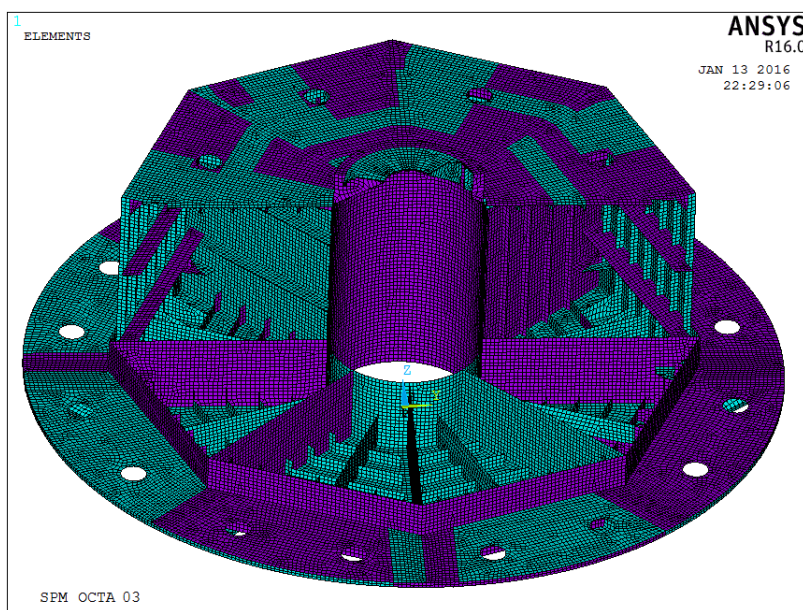
Gambar 5-26 Model konstruksi lambung SPM OCTA 03

Material yang digunakan untuk pembangunan SPM OCTA 03 keseluruhan menggunakan baja AH-36. *Material properties* di-input-kan, sehingga model yang didapatkan memiliki *material properties* jenis baja tersebut. Berikut merupakan data material yang di-input:

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| ✓ <i>Young's modulus</i> | : 200 GPa (29,000,000 psi) |
| ✓ <i>Poisson's ratio</i> | : 0.26 |
| ✓ <i>Shear modulus</i> | : 75 GPa (10,900,000 psi) |

- ✓ *Yield strength* : 51,000 psi (355 MPa)
- ✓ *Ultimate strength* : 71,000–90,000 psi (490–620 MPa).

Setelah model struktur lambung selesai dimodelkan, selanjutnya yaitu dilakukan proses *meshing*. Setiap elemen *shell* didefinisikan ketebalan dan jenis materialnya (*mesh attribut*). Ukuran elemen yang dipilih menentukan keakuratan angka yang dihasilkan. Semakin kecil ukuran elemen maka semakin banyak jumlah elemen yang dibentuk dan semakin akurat hasilnya, tetapi membutuhkan waktu lebih lama dalam proses *running*.



Gambar 5-27 Hasil *meshing* (element) struktur SPM

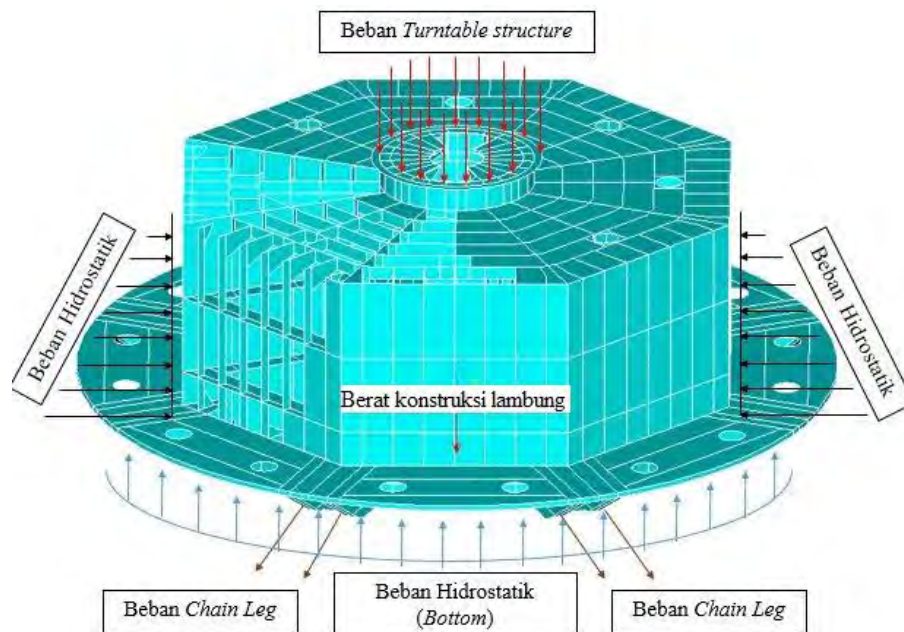
Setelah proses *meshing* berhasil dilakukan, selanjutnya yaitu *input* beban yang bekerja pada lambung SPM. Beban yang bekerja pada lambung SPM merupakan kombinasi dari beban *turntable structure*, berat konstruksi lambung, beban hidrostatik, dan beban dari *chain leg*. Arah kerja dari masing-masing beban dapat dilihat pada Gambar 5-28. Sedangkan besar beban yang bekerja pada struktur SPM OCTA 03 seperti terlihat pada Tabel 5-21 berikut.

Tabel 5-21 Besar beban yang bekerja pada SPM OCTA 03

No	Item	Value
1	Beban struktur lambung (dimodelkan)	142.091 Ton
2	Berar <i>turntable structure</i>	71.618 Ton
3	Beban hidrostatik (Pelat alas)	102.215 kPa
4	Beban hidrostatik (Pelat sisi)	0 – 32.177 kPa

5	Beban <i>Anchor legs</i>	8 x @ 154.725 Ton (35deg)
---	--------------------------	---------------------------

Analisa struktur dapat diselesaikan ketika kondisi pembebanan mengalami kesetimbangan ($\Sigma F=0$). Untuk mendapatkan kondisi ini, cukup sulit, sehingga kondisi batas perlu diidentifikasi terlebih dahulu. Yang dijadikan sebagai kondisi batas yaitu pemberian elemen pegas dibawah konstruksi SPM. Keadaan setimbang yang dapat diterima yaitu ketika *stress* yang terjadi pada ujung elemen pegas relatif kecil sehingga tidak mempengaruhi struktur SPM secara global.



Gambar 5-28 Beban yang bekerja pada struktur SPM OCTA 03

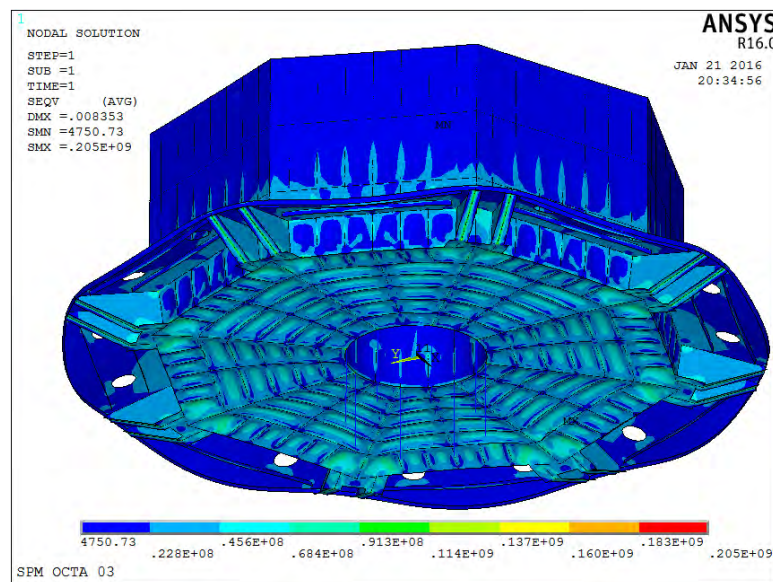
Model struktur SPM siap untuk di-*running* setelah semua beban diberikan pada elemen *shell* yang telah di *meshing*. Data *stress* pada setiap bagian konstruksi yang didapatkan dari hasil *running* ANSYS mechanical APDL disajikan dalam tabel Tabel 5-22 berikut.

Tabel 5-22 Tegangan maksimum pada konstruksi SPM OCTA 03

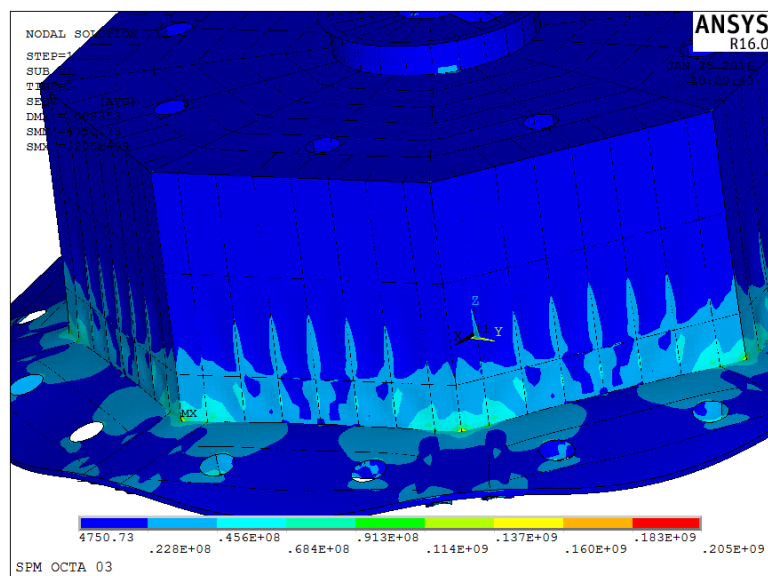
No.	Item	Hasil Perhitungan			
		Von Misses Stress (MPa)	Shear Atress XY (MPa)	Shear Atress YZ (MPa)	Shear Atress XZ (MPa)
1	Konstruksi Deck	55.1	17.2	18.7	13.1
2	Konstruksi Alas	199.0	81.0	80.8	79.7
3	Konstruksi Sisi	204.0	88.0	63.7	78.7
4	Konstruksi Center well	199.0	81.0	80.8	79.7
5	Konstruksi Sekat	205.0	89.1	80.8	79.7
6	Konstruksi Skirt & Chain Stopper	205.0	89.1	78.7	78.7

Beban yang bekerja pada struktur SPM OCTA 03 menyebabkan adanya tegangan. Tegangan disalurkan dari struktur yang menerima gaya ke struktur yang berhubungan. Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa tegangan tertinggi terjadi pada konstruksi sisi, sekat dan *chain stopper*. Ini diakibatkan beban dari tarikan *chain leg* SPM yang disalurkan melalui *chain stopper* terpusat pada ketiga konstruksi ini. Pelat sisi dan pelat sekat yang memiliki sudut membuat tegangan terpusat sehingga tegangan pada area tersebut semakin besar.

Penyebaran tegangan akibat pembebanan yang bekerja ditampilkan pada Gambar 5-29 dan Gambar 5-30 berikut.



Gambar 5-29 Distribusi tegangan pada struktur lambung



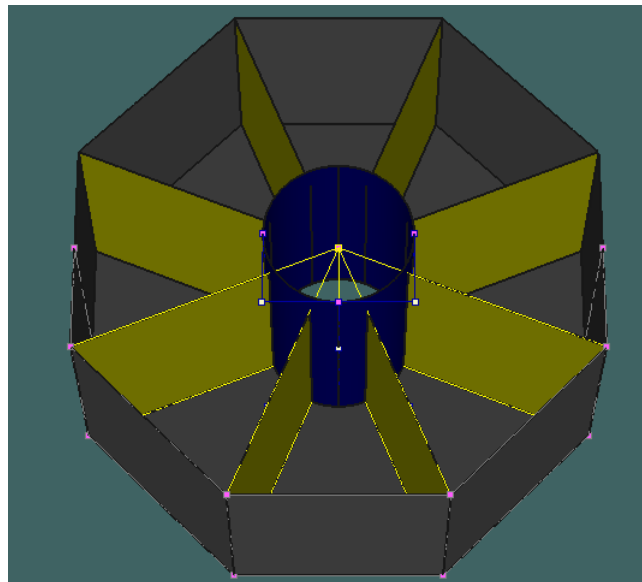
Gambar 5-30 Detail stress maksimum pada konstruksi lambung SPM

5.5.4 Stability Analysis

Analisa stabilitas dilakukan untuk mengetahui bahwa bentuk lambung octagonal SPM mampu mengatasi ancaman risiko kegagalan akibat masalah stabilitas. SPM disebut memiliki stabilitas baik apabila mampu mengembalikan posisi dalam keadaan stabil setelah mendapat gaya dari luar. Bentuk lambung octagonal berkontribusi dalam peletakan titik berat dan titik pusat gaya apung SPM. Bentuk lambung octagonal SPM diharapkan mampu mengatur kombinasi kedua titik tersebut sehingga didapatkan kestabilan lambung SPM.

Analisa stabilitas dilakukan dengan menghitung letak dari titik-titik penting yang mempengaruhi stabilitas itu sendiri. Titik penting dalam stabilitas diantaranya adalah titik berat, titik pusat gaya angkat, dan titik pusat rotasi melintang (*metacenter*).

Peraturan mengenai stabilitas sebenarnya telah diatur dalam dokumen ABS. Kriteria penerimaan juga telah disebutkan dalam tahap *Qualification Plan*. Namun karena bentuk lambung SPM OCTA 03 merupakan inovasi baru, bentuk octagonal, maka dari segi stabilitas perlu untuk diketahui keandalannya.



Gambar 5-31 Model lambung SPM untuk analisa stabilitas

Analisa stabilitas pada SPM OCTA 03 dilakukan dengan bantuan software komputer. *Maxsurf Stability* digunakan sebagai *tools* utama untuk menghitung variabel-variabel penting dalam stabilitas. *Maxsurf Stability* biasa digunakan untuk

menghitung stabilitas pada kapal. SPM sebagai bangunan terapung memiliki kesamaan prinsip sehingga software ini dapat diterapkan.

Proses analisa diawali dengan pembuatan model lambung SPM yang dilakukan di *Maxsurf Modeller*. Model lambung SPM OCTA 03 untuk keperluan analisa stabilitas dapat dilihat pada Gambar 5-31. Setelah model lambung SPM selesai dibuat, langkah selanjutnya yaitu pendefinisian kompartemen. Masing-masing kompartemen dibatasi oleh pelat kulit, pelat *center well*, dan pelat sekat. Pembagian kompartemen disesuaikan dengan desain basis yang ada. Pembagian kompartemen dibutuhkan untuk keperluan analisa stabilitas dalam kondisi bocor.

Analisa stabilitas dilakukan pada dua kondisi yaitu analisa stabilitas utuh dan analisa stabilitas pada keadaan salah satu kompartemen SPM mengalami kebocoran. Beban yang diterima pada masing-masing kondisi berdasarkan analisa gerakan lambung pada cuaca ekstrim.

a. Stabilitas lambung SPM kondisi utuh (*Intact stability*)

Lambung SPM dalam kondisi utuh berarti tidak terjadi kebocoran dan gaya apung tetap sama dengan berat air yang dipindahkan volume displacemen. Pada kondisi lambung SPM utuh, pembebanan yang terjadi didefinisikan pada Tabel 5-23 berikut.

Tabel 5-23 Load case lambung SPM pada kondisi utuh

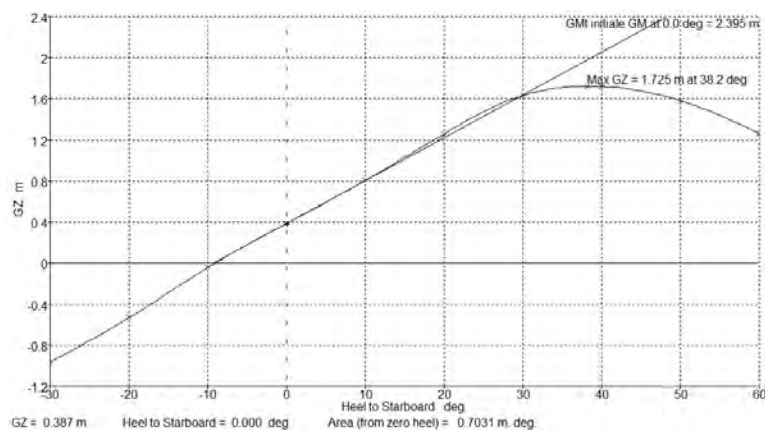
Item Name	Qty.	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)
Hull & Skirt Elemen	1	207.429	207.429	0	0	2.42
Deck House	1	3.881	3.881	0	0	8.99
Platform & Pipe	1	67.364	67.364	0.26	-0.22	6.09
Railing	1	0.373	0.373	0	1.28	9.94
Pretension Chain 1	1	13.06	13.06	5.9	-2.4	0.5
Pretension Chain 2	1	12.87	12.87	2.4	-5.9	0.5
Pretension Chain 3	1	12.44	12.44	-2.4	-5.9	0.5
Pretension Chain 4	1	12.21	12.21	-5.9	-2.4	0.5
Pretension Chain 5	1	12.21	12.21	-5.9	2.4	0.5
Pretension Chain 6	1	12.44	12.44	-2.4	5.9	0.5
Pretension Chain 7	1	12.87	12.87	2.4	-5.9	0.5
Pretension Chain 8	1	13.06	13.06	5.9	2.4	0.5
Pretension Hawser 1	1	5.9	5.9	0	1	5.5
Pretension Hawser 2	1	5.88	5.88	0	1	5.5
Riser Pretension	2	3.68	7.36	0	0	0
Total Loadcase			399.346	0.074	-0.387	2.67
FS correction						0
VCG fluid						2.67

Ketika lambung SPM mengalami pembebanan seperti pada Tabel 5-23, dilakukan pengukuran terhadap kondisi setimbangnya (*equilibrium*). Data yang didapatkan disajikan pada Tabel 5-24 berikut.

Tabel 5-24 Data SPM dalam kondisi setimbang (*intact*)

Draft at Mid (m)	3.278
Displacement (ton)	399.3
Heel (deg.)	-9
Draft at Fore (m)	3.468
Draft at After (m)	3.087
KB (m)	1.693
GMt corrected (m)	2.555
GML (m)	2.471
Trim angle (deg.)	-1.7395

Setelah kondisi setimbang didapatkan, selanjutnya yaitu dilakukan penghitungan terhadap lengan pengembali (GZ). Gambar 5-32 menunjukkan kurva stabilitas SPM OCTA 03 dalam kondisi utuh.



Gambar 5-32 Intact stability curve

b. Stabilitas lambung SPM kondisi bocor (*Damage stability*)

Risiko kebocoran pada lambung SPM cukup tinggi, sehingga perlu diketahui kemampuan SPM dalam mengatasi risiko ini. Sesuai persyaratan, lambung SPM harus tetap mampu mengapung dalam keadaan satu kompartemen-nya mengalami kebocoran.

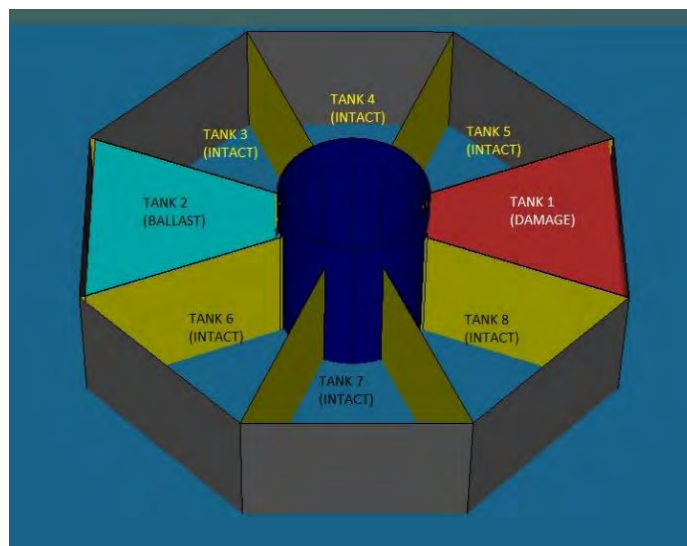
Dalam analisa ini, kompartemen yang mengalami kebocoran diletakkan pada posisi haluan. Karena bentuk lambung octagonal SPM simetri, baik haluan dan buritan maupun samping kanan dan samping kiri, apabila satu kompartemen

mengalami kobocoran, maka kompartemen tersebut diasumsikan berada pada posisi haluan. Pembebanan pada kondisi bocor dikemas dalam Tabel 5-25 berikut.

Tabel 5-25 Load case lambung SPM pada kondisi bocor

Item Name	Qty.	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM Type
Hull & Skirt Elemen	1	207.429	207.429	0	0	2.42	0	Maximum
Deck House	1	3.881	3.881	0	0	8.99	0	Maximum
Platform & Pipe	1	67.364	67.364	0.26	-0.22	6.09	0	Maximum
Railing	1	0.373	0.373	0	1.28	9.94	0	Maximum
Pretension Chain 1	1	13.06	13.06	5.9	-2.4	0.5	0	User Specified
Pretension Chain 2	1	12.87	12.87	2.4	-5.9	0.5	0	User Specified
Pretension Chain 3	1	12.44	12.44	-2.4	-5.9	0.5	0	User Specified
Pretension Chain 4	1	12.21	12.21	-5.9	-2.4	0.5	0	User Specified
Pretension Chain 5	1	12.21	12.21	-5.9	2.4	0.5	0	User Specified
Pretension Chain 6	1	12.44	12.44	-2.4	5.9	0.5	0	User Specified
Pretension Chain 7	1	12.87	12.87	2.4	-5.9	0.5	0	User Specified
Pretension Chain 8	1	13.06	13.06	5.9	2.4	0.5	0	User Specified
Pretension Hawser 1	1	5.9	5.9	0	1	5.5	0	User Specified
Pretension Hawser 2	1	5.88	5.88	0	1	5.5	0	User Specified
Riser Pretension	2	3.68	7.36	0	0	0	0	Maximum
Tank 1 (Damaged)								
Tank 2	70%	78.969	55.278	-4.425	0	1.938	17.828	Maximum
Total Loadcase			454.625	-0.473	-0.34	2.581	17.828	
FS correction						0.039		
VCG fluid						2.62		

Pada saat terjadi kebocoran, kompartemen yang mengalami kebocoran diasumsikan sebagai Tank 1. Sedangkan kompartemen yang letaknya bersebrangan dengan Tank 1 diasumsikan sebagai Tank 2. Tank 2 diisi dengan air *ballast* untuk menggeser titik berat agar tetap berada di posisi tengah lambung SPM.



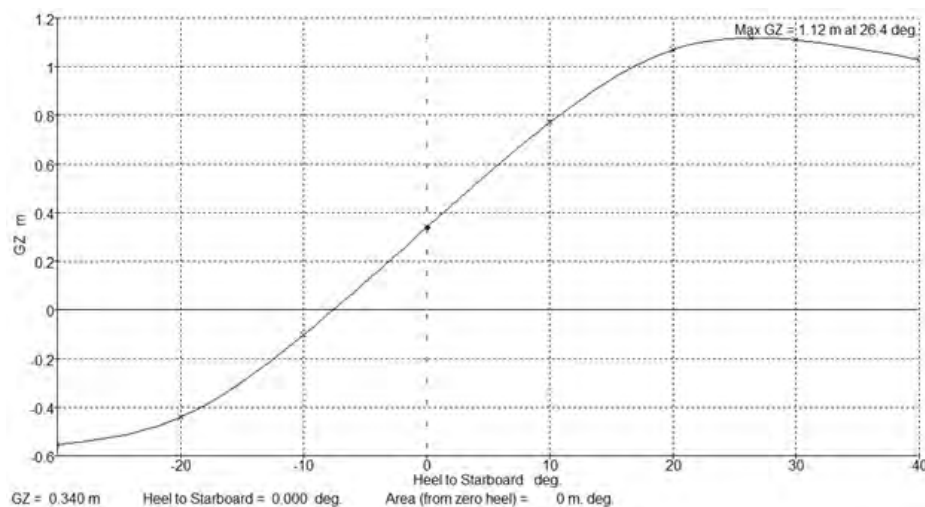
Gambar 5-33 Letak kompartemen bocor pada SPM

Penghitungan kondisi setimbang dilakukan, ketika lambung SPM mengalami kebocoran dan didapatkan data seperti terlihat pada Tabel 5-26 berikut.

Tabel 5-26 Data SPM dalam kondisi setimbang (*damage*)

Draft at Mid (m)	4.261
Displacement (ton)	454.7
Heel (deg.)	-7.8
Draft at Fore (m)	4.669
Draft at After (m)	3.853
Trim (+ve by stern) m	-0.816
KB (m)	2.154
GMt corrected (m)	2.578
GML (m)	1.878
Trim angle (deg.)	-3.728

Setelah kondisi setimbang didapatkan, selanjutnya yaitu dilakukan penghitungan terhadap lengan pengembali (GZ). Gambar 5-34 menunjukkan kurva stabilitas SPM OCTA 03 dalam kondisi bocor pada salah satu kompartemennya.



Gambar 5-34 Damage stability curve

5.6 Compliance with Requirement

5.6.1 Analisa Chain Leg Tension SPM OCTA 03

Perhitungan *tension* yang terjadi pada *chain leg* SPM OCTA 03 telah dilakukan pada dua *load case* utama yaitu kondisi operasional dan kondisi cuaca ekstrim. Pada kondisi operasional, *tension* maksimum terjadi pada *load case* A.2.1.1. yaitu kondisi ketika arah datang gelombang, arus dan angin sejajar 180° salah satu *chain leg* putus (*chain* no. 8), dan tanker yang bertambat dalam kondisi *full load*. *Tension* yang terjadi sebesar 1547.247 kN. Pada kondisi cuaca ekstrim,

tension maksimum terjadi pada *load case* B.1. yaitu kondisi ketika arah datang gelombang, arus dan angin sejajar 180° salah satu *chain leg* putus (*chain* no. 8. *Tension* yang terjadi sebesar 684.92 kN.

Tension yang didapatkan dari masing-masing perhitungan dibandingkan dengan *breaking load* dari type *chain* yang digunakan, dan juga mempertimbangkan *safety factor* yang disyaratkan.

Tabel 5-27 Pemenuhan *tension* maksimum *chain leg*

Load Case	Actual Max. Tension (Ton)	Catalog breaking strength (ton)	Allowable Safety Factor	Actual Safety Factor	Status
Operating Condition	154.725	918	3	6	Diterima
Extreme Condition	68.492	918	3	13	Diterima

5.6.2 Analisa Struktur SPM OCTA 03

Analisa struktur dilakukan untuk mendapatkan *stress* maksimum yang terjadi pada struktur konstruksi SPM OCTA 03. *Stress* yang didapatkan dari hasil perhitungan dibandingkan dengan *allowable stress* material yang digunakan dengan mempertimbangkan *safety factor* yang disyaratkan.

Untuk *Axial Bending Stress*, berikut perbandingan antara *stress* yang terjadi terhadap *allowable stress*. *Stress* maksimum adalah 205 Mpa, terjadi pada konstruksi sisi, sekat dan konstruksi *chain stopper*, tepatnya pada sudut dimana *chain stopper* berada. Angka tersebut masih dapat diterima.

Tabel 5-28 Pemenuhan tegangan ijin (*Axial Bending Stress*)

No.	Item	Von Misses Stress (Mpa)				
		Yield Strength AH-36	Safety Factor (ABS)	Allowable stress (Mpa)	Actual stress (Mpa)	Status
1	Konstruksi Deck	355	1.67	212.6	55.1	Accepted
2	Konstruksi Alas	355	1.67	212.6	199.0	Accepted
3	Konstruksi Sisi	355	1.67	212.6	204.0	Accepted
4	Konstruksi Center well	355	1.67	212.6	199.0	Accepted
5	Konstruksi Sekat	355	1.67	212.6	205.0	Accepted
6	Konstruksi Skirt & Chain Stopper	355	1.67	212.6	205.0	Accepted

Untuk *shear stress*, berikut perbandingan antara *stress* yang terjadi terhadap *allowable stress*. *Stress* maksimum adalah 89.1 Mpa, terjadi pada konstruksi sisi, sekat dan konstruksi *chain stopper*. Angka tersebut masih dapat diterima.

Tabel 5-29 Pemenuhan tegangan ijin (*Shear Stress*)

No.	Item	Shear Atress XY (MPa)				
		Yield Strength AH-36	Safety Factor (ABS)	Allowable stress (Mpa)	Actual stress (Mpa)	Status
1	Konstruksi Deck	355	2.5	142.0	17.2	Accepted
2	Konstruksi Alas	355	2.5	142.0	81.0	Accepted
3	Konstruksi Sisi	355	2.5	142.0	88.0	Accepted
4	Konstruksi Center well	355	2.5	142.0	81.0	Accepted
5	Konstruksi Sekat	355	2.5	142.0	89.1	Accepted
6	Konstruksi Skirt & Chain Stopper	355	2.5	142.0	89.1	Accepted

No.	Item	Shear Atress YZ (MPa)				
		Yield Strength AH-36	Safety Factor (ABS)	Allowable stress (Mpa)	Actual stress (Mpa)	Status
1	Konstruksi Deck	355	2.5	142.0	18.7	Accepted
2	Konstruksi Alas	355	2.5	142.0	80.8	Accepted
3	Konstruksi Sisi	355	2.5	142.0	63.7	Accepted
4	Konstruksi Center well	355	2.5	142.0	80.8	Accepted
5	Konstruksi Sekat	355	2.5	142.0	80.8	Accepted
6	Konstruksi Skirt & Chain Stopper	355	2.5	142.0	78.7	Accepted

No.	Item	Shear Atress XZ (MPa)				
		Yield Strength AH-36	Safety Factor (ABS)	Allowable stress (Mpa)	Actual stress (Mpa)	Status
1	Konstruksi Deck	355	2.5	142.0	13.1	Accepted
2	Konstruksi Alas	355	2.5	142.0	79.7	Accepted
3	Konstruksi Sisi	355	2.5	142.0	78.7	Accepted
4	Konstruksi Center well	355	2.5	142.0	79.7	Accepted
5	Konstruksi Sekat	355	2.5	142.0	79.7	Accepted
6	Konstruksi Skirt & Chain Stopper	355	2.5	142.0	78.7	Accepted

5.6.3 Analisa Stabilitas Lambung SPM OCTA 03

Perhitungan stabilitas Lambung SPM OCTA 03 telah selesai dilakukan. Telah didapatkan data mengenai letak titik-titik penting dalam stabilitas. Langkah selanjutnya yaitu mengetahui apakah persyaratan yang diberikan sebelumnya dapat dipenuhi oleh Lambung SPM OCTA 03.

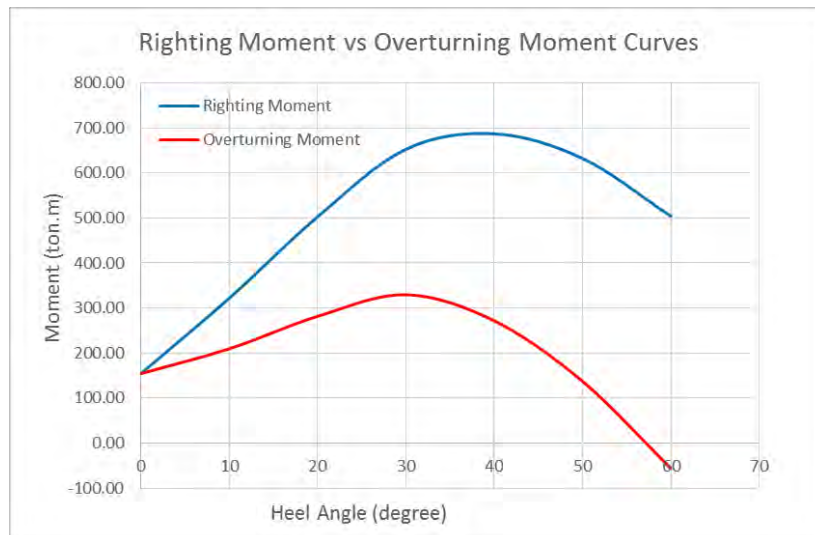
a. *Intact Stability*

Dalam kondisi lambung utuh (*intact stability*), didapatkan tinggi metacenter melintang 2.555 meter. Angka ini masih memenuhi persyaratan yang diberikan. Sarat SPM pada kondisi utuh adalah 3.278 meter, berarti SPM masih mendapatkan gaya angkat yang cukup pada kondisi ini.

Selanjutnya mengenai persyaratan energi penegak (luas area dibawah kurva momen penegak) harus lebih besar dari 1.4 kali energi pengguling (luas area dibawah kurva momen pengguling). Untuk pengecekan pemenuhan terhadap persyaratan ini, maka perlu dihitung dan dibuat kurva momen penegak dan momen pengguling. Perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5-30 berikut.

Tabel 5-30 *Righting moment dan Overturning moment*

Heel to Port degrees	0	10	20	30	40	50	60
Displacement (tonne)	399.4	399.3	399.3	399.3	399.3	399.3	399.4
Righting Arm GZ (m)	0.387	0.806	1.259	1.635	1.721	1.584	1.262
Righting Moment (Ton. m)	154.57	321.84	502.72	652.86	687.2	632.49	504.04
Overturning Arm (m)	0.39	0.52	0.71	0.83	0.68	0.34	-0.14
Overturning Moment (ton. m)	154.57	209.58	281.61	329.62	271.65	137.27	-55.95
Area Under RM. Curve (Ton.m.Deg)	0	2414.96	6380.8	12363.3	19098.6	25812.5	31514.3
Area Under OM. Curve (Ton.m.Deg)	0	1813.61	4260.8	7371.33	10472.6	12587.5	13083.8



Gambar 5-35 Kurva *Righting moment* dan *Overturning moment*

Kurva momen penegak dan momen mengguling diplot dalam satu diagram dengan skala yang sama, kemudian didapatkan luasan area dibawah kurva-kurva tersebut. Dari perhitungan didapatkan, luas area dibawah kurva momen penegak adalah 31514.3 ton.m.deg. sedangkan luas area dibawah kurva momen pengguling adalah 13083.8 ton.m.deg.

b. *Damage Stability*

Berdasarkan data analisa kondisi equilibrium SPM pada saat salah satu kompartemennya mengalami kebocoran, didapatkan sarat SPM adalah 4.261 meter.

Dapat diartikan bahwa lambung SPM masih memiliki gaya apung cadangan karena sarat masih dibawah tinggi SPM (tinggi SPM = 5.5 meter).

Dari analisa dan perhitungan yang telah dilakukan terhadap komponen stabilitas lambung SPM OCTA 03, baik dalam kondisi lambung utuh maupun dalam kondisi bocor, maka dapat diringkas informasinya dalam sebuah tabel pemenuhan kriteria, seperti terlihat pada Tabel 5-31 berikut.

Tabel 5-31 Pemenuhan kriteria stabilitas lambung SPM

Load Case	Design Criteria	Calculation Result	Status
1.Intact Stability	- $GM > 0$	$GM = 2.555 \text{ m}$	Accepted
	- $A. RM > 1.4 \times A. OM.$	$A. RM = 31514.3 > 1.4 \times A. OM. = 18317.32$	Accepted
	- Draft < Height	Draft = 3.278 m < Height = 5.5 m	Accepted
2. Damage Stability	- Draft < Height	Draft = 4.261 m < Height = 5.5 m	Accepted

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Telah disusun prosedur pengkajian teknologi baru berdasarkan pada *guidance* yang diterbitkan oleh DNV, LR dan ABS. Prosedur tersebut diterapkan pada studi kasus SPM OCTA 03 yang memiliki bentuk lambung octagonal. Dari pengkajian yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Bentuk lambung octagonal dari SPM OCTA 03 merupakan teknologi baru yang harus dikaji terlebih dahulu sebelum diterapkan.
2. Risiko kegagalan tertinggi pada SPM adalah putusnya *chain leg*, kebocoran lambung dan kegagalan struktur akibat beban berlebih.
3. Dari analisa *chain tension* didapatkan *tension* tertinggi 157.725 ton. Desain *chain leg* menggunakan *chain grade* R4 diameter 95 mm dengan *breaking load* 918 ton. Dengan memperhitungkan faktor keamanan yang disyaratkan, *tension* yang terjadi tidak melebihi harga yang diijinkan.
4. Dari analisa struktur didapatkan tegangan tertinggi pada struktur lambung SPM adalah 205 MPa. Struktur SPM OCTA 03 menggunakan material baja *grade* AH36, yang memiliki tegangan ijin 355 MPa. Dengan memperhitungkan faktor keamanan yang disyaratkan, tegangan yang terjadi tidak melebihi harga yang diijinkan.
5. Dari analisa stabilitas *intact* yang dilakukan diketahui tinggi metacenter adalah $GM = 2.555$ m. Harga GM dapat diterima karena masih >0 . Selain itu dalam kondisi satu kompartemennya mengalami kebocoran, SPM OCTA 03 mampu tetap berada dalam kondisi terapung dengan sarat 4.261 m.
6. Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan dengan prosedur *Technology Qualification*, maka secara teknis bentuk lambung octagonal dapat diterapkan pada SPM.

6.2 Saran

Analisa motion pada SPM dengan bentuk lambung octagonal agar dibandingkan dengan bentuk lain seperti silinder, hexagonal atau bentuk lainnya.

A.1. Response Amplitude Operator (RAO) SPM

TABLE 1
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Hydrodynamic Graph Results

Object Name	RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)
State	Solved
Details of RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)	
Presentation Method	Surface
Axes Selection	Distance/Rotation vs Frequency & Direction
Frequency or Period Scale	Frequency
Export CSV File	Select CSV File...
Surface	
Structure	SPM HULL
Type	RAOs (Response Amplitude Operators)
Component	Global X
Position of Min in X	0.25
Position of Max in X	0.016
Position of Min in Y	-90
Position of Max in Y	0.0
Minimum Value	0.002
Maximum Value	6.736

FIGURE 1
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)

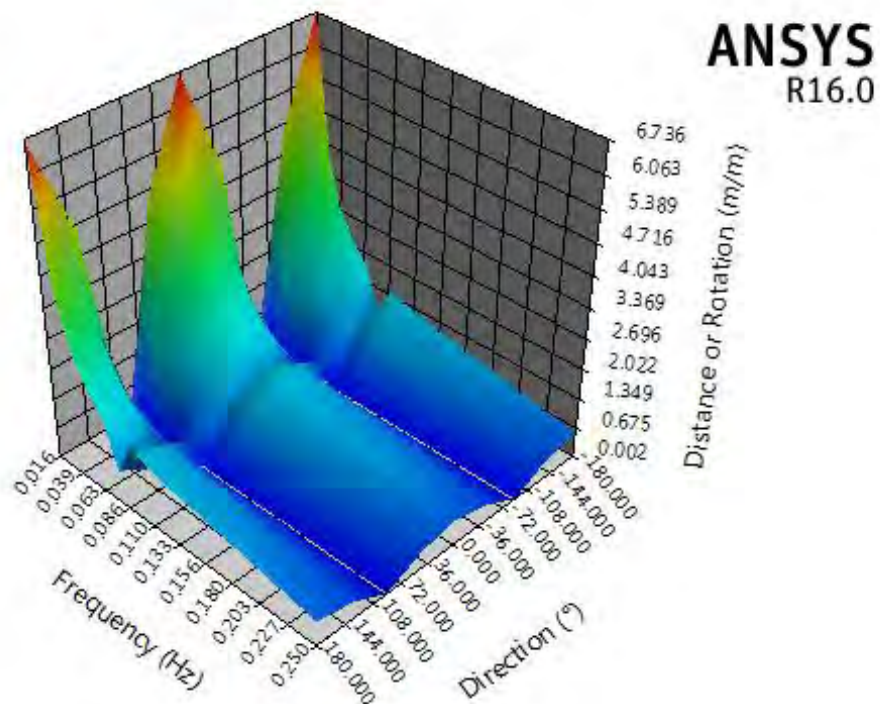


TABLE 2
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)

Frequency	-180°	-135°	-90°	-45°	0.0°	45°	90°	135°	180°
0.01592 Hz	6.736	4.754	0.013	4.772	6.736	4.754	0.013	4.772	6.736
0.02824 Hz	3.828	2.701	0.008	2.713	3.828	2.701	0.008	2.713	3.828
0.04056 Hz	2.699	1.904	0.006	1.913	2.699	1.904	0.006	1.913	2.699
0.05288 Hz	2.101	1.482	0.006	1.490	2.101	1.482	0.006	1.490	2.101
0.0652 Hz	1.717	1.211	0.009	1.218	1.717	1.211	0.009	1.218	1.717
0.07752 Hz	0.707	0.778	0.426	0.276	0.707	0.778	0.426	0.276	0.707
0.08984 Hz	1.490	1.062	0.018	1.046	1.490	1.062	0.018	1.046	1.490
0.10216 Hz	1.338	0.948	0.009	0.944	1.338	0.948	0.009	0.944	1.338
0.11448 Hz	1.245	0.881	0.007	0.880	1.245	0.881	0.007	0.880	1.245
0.1268 Hz	1.175	0.830	0.006	0.831	1.175	0.831	0.006	0.831	1.175
0.13912 Hz	1.112	0.786	0.007	0.787	1.113	0.787	0.007	0.787	1.112
0.15144 Hz	1.052	0.743	0.009	0.746	1.053	0.744	0.009	0.744	1.052
0.16376 Hz	0.984	0.693	0.020	0.710	0.999	0.708	0.019	0.695	0.984
0.17608 Hz	0.926	0.653	0.010	0.660	0.931	0.658	0.008	0.655	0.926
0.1884 Hz	0.865	0.610	0.003	0.613	0.865	0.611	0.002	0.613	0.865
0.20072 Hz	0.801	0.565	0.002	0.568	0.801	0.565	0.002	0.568	0.801
0.21304 Hz	0.737	0.520	0.002	0.522	0.737	0.520	0.002	0.522	0.737
0.22536 Hz	0.673	0.475	0.002	0.478	0.674	0.475	0.003	0.477	0.673
0.23768 Hz	0.611	0.431	0.002	0.434	0.611	0.431	0.003	0.433	0.611
0.25 Hz	0.550	0.388	0.002	0.391	0.551	0.388	0.003	0.390	0.550

TABLE 3
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Hydrodynamic Graph Results

Object Name	RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)
State	Solved
Details of RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)	
Presentation Method	Surface
Axes Selection	Distance/Rotation vs Frequency & Direction
Frequency or Period Scale	Frequency
Export CSV File	Select CSV File...
Surface	
Structure	SPM HULL
Type	RAOs (Response Amplitude Operators)
Component	Global Y
Position of Min in X	0.213
Position of Max in X	0.016
Position of Min in Y	0.0
Position of Max in Y	-90
Minimum Value	0.002
Maximum Value	6.733

FIGURE 2
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)

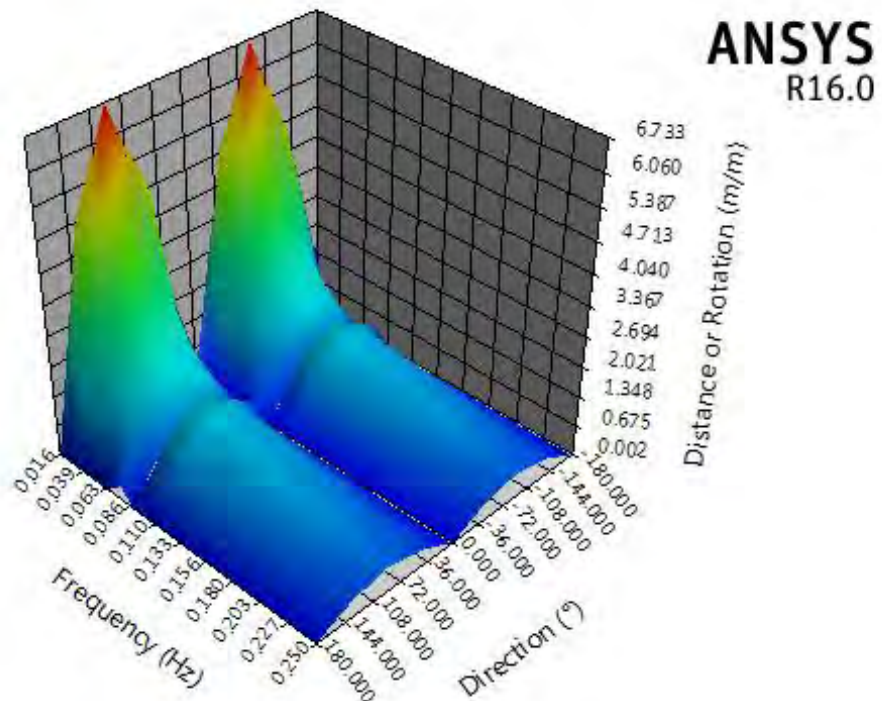


TABLE 4
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)

Frequency	-180°	-135°	-90°	-45°	0.0°	45°	90°	135°	180°
0.01592 Hz	0.013	4.751	6.733	4.770	0.013	4.751	6.733	4.770	0.013
0.02824 Hz	0.008	2.700	3.826	2.711	0.008	2.700	3.826	2.711	0.008
0.04056 Hz	0.007	1.903	2.697	1.912	0.007	1.903	2.697	1.912	0.007
0.05288 Hz	0.007	1.480	2.100	1.489	0.007	1.480	2.100	1.489	0.007
0.0652 Hz	0.009	1.208	1.716	1.218	0.009	1.208	1.716	1.218	0.009
0.07752 Hz	0.301	0.730	0.762	0.371	0.301	0.730	0.761	0.370	0.301
0.08984 Hz	0.016	1.063	1.493	1.048	0.016	1.063	1.493	1.048	0.016
0.10216 Hz	0.008	0.949	1.339	0.945	0.008	0.949	1.339	0.945	0.008
0.11448 Hz	0.006	0.881	1.246	0.880	0.006	0.881	1.246	0.880	0.006
0.1268 Hz	0.006	0.831	1.175	0.831	0.006	0.831	1.175	0.831	0.006
0.13912 Hz	0.006	0.787	1.113	0.787	0.006	0.786	1.113	0.787	0.006
0.15144 Hz	0.008	0.744	1.053	0.746	0.008	0.743	1.052	0.744	0.008
0.16376 Hz	0.017	0.708	0.999	0.709	0.018	0.693	0.984	0.695	0.017
0.17608 Hz	0.008	0.658	0.931	0.660	0.009	0.653	0.927	0.656	0.008
0.1884 Hz	0.002	0.611	0.865	0.613	0.003	0.610	0.865	0.613	0.002
0.20072 Hz	0.002	0.565	0.801	0.568	0.002	0.565	0.801	0.568	0.002
0.21304 Hz	0.002	0.520	0.737	0.522	0.002	0.519	0.737	0.523	0.002
0.22536 Hz	0.003	0.475	0.674	0.478	0.002	0.474	0.673	0.478	0.003
0.23768 Hz	0.003	0.431	0.611	0.433	0.002	0.430	0.611	0.434	0.003
0.25 Hz	0.003	0.388	0.550	0.390	0.002	0.387	0.550	0.390	0.003

TABLE 5
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Hydrodynamic Graph Results

Object Name	RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)
State	Solved
Details of RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)	
Presentation Method	Surface
Axes Selection	Distance/Rotation vs Frequency & Direction
Frequency or Period Scale	Frequency
Export CSV File	Select CSV File...
Surface	
Structure	SPM HULL
Type	RAOs (Response Amplitude Operators)
Component	Global Z
Position of Min in X	0.201
Position of Max in X	0.164
Position of Min in Y	135
Position of Max in Y	135
Minimum Value	0.028
Maximum Value	3.093

FIGURE 3
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)

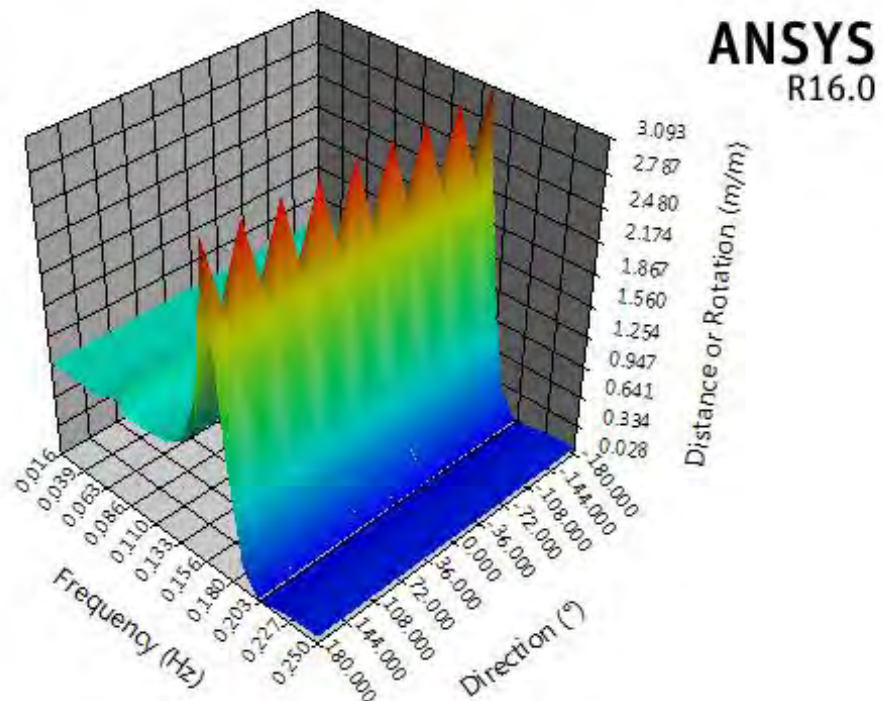


TABLE 6
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)

Frequency	-180°	-135°	-90°	-45°	0.0°	45°	90°	135°	180°
0.01592 Hz	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
0.02824 Hz	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998
0.04056 Hz	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995
0.05288 Hz	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992
0.0652 Hz	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990
0.07752 Hz	1.100	1.060	1.097	1.134	1.098	1.060	1.099	1.137	1.100
0.08984 Hz	0.971	0.971	0.971	0.971	0.971	0.971	0.971	0.971	0.971
0.10216 Hz	0.973	0.973	0.973	0.973	0.973	0.973	0.973	0.973	0.973
0.11448 Hz	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984
0.1268 Hz	1.017	1.017	1.017	1.017	1.017	1.017	1.017	1.017	1.017
0.13912 Hz	1.111	1.111	1.110	1.110	1.110	1.111	1.111	1.111	1.111
0.15144 Hz	1.391	1.390	1.390	1.389	1.390	1.390	1.391	1.391	1.391
0.16376 Hz	3.093	3.091	3.089	3.087	3.088	3.090	3.093	3.093	3.093
0.17608 Hz	1.331	1.331	1.329	1.328	1.329	1.330	1.331	1.332	1.331
0.1884 Hz	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257
0.20072 Hz	0.028	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.028	0.028	0.028
0.21304 Hz	0.054	0.053	0.052	0.051	0.052	0.053	0.054	0.055	0.054
0.22536 Hz	0.087	0.085	0.083	0.082	0.083	0.084	0.086	0.087	0.087
0.23768 Hz	0.098	0.095	0.093	0.092	0.093	0.095	0.097	0.098	0.098
0.25 Hz	0.098	0.096	0.093	0.092	0.093	0.095	0.098	0.099	0.098

TABLE 7
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Hydrodynamic Graph Results

Object Name	RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)
State	Solved
Details of RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)	
Presentation Method	Surface
Axes Selection	Distance/Rotation vs Frequency & Direction
Frequency or Period Scale	Frequency
Export CSV File	Select CSV File...
Surface	
Structure	SPM HULL
Type	RAOs (Response Amplitude Operators)
Component	Global RX
Position of Min in X	0.201
Position of Max in X	0.078
Position of Min in Y	-180
Position of Max in Y	-90
Minimum Value	0.028
Maximum Value	44.958

FIGURE 4
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)

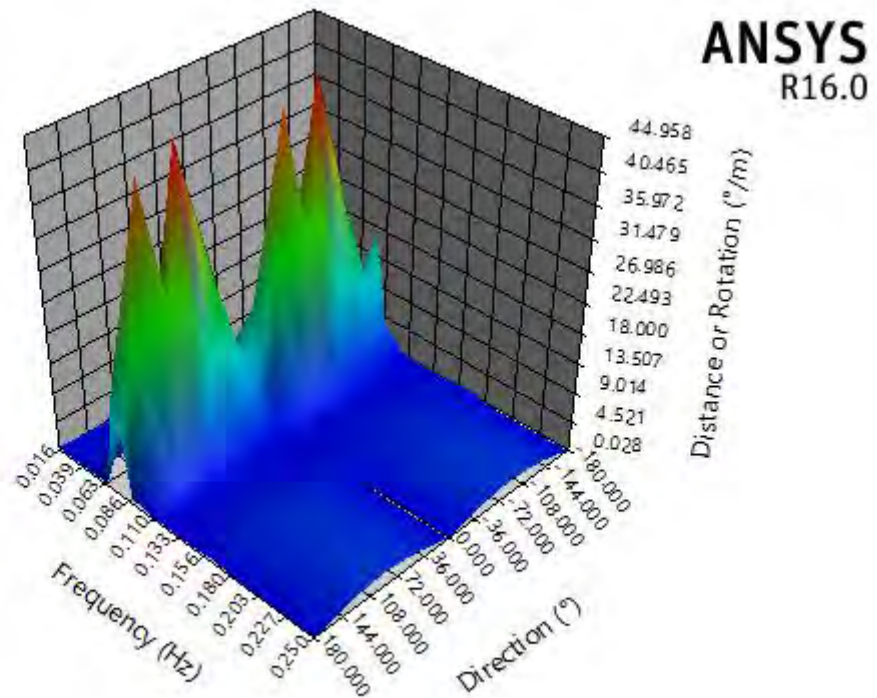


TABLE 8
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)

Frequency	-180°	-135°	-90°	-45°	0.0°	45°	90°	135°	180°
0.01592 Hz	0.502	1.031	0.957	0.322	0.502	1.031	0.957	0.322	0.502
0.02824 Hz	0.316	0.995	1.091	0.549	0.316	0.995	1.091	0.549	0.316
0.04056 Hz	0.268	1.239	1.489	0.869	0.268	1.239	1.489	0.869	0.268
0.05288 Hz	0.291	1.768	2.238	1.402	0.291	1.768	2.238	1.402	0.291
0.0652 Hz	0.459	3.151	4.148	2.736	0.459	3.151	4.148	2.736	0.459
0.07752 Hz	16.496	22.440	44.958	42.305	16.484	22.420	44.949	42.302	16.496
0.08984 Hz	0.873	3.338	4.091	2.521	0.873	3.338	4.091	2.521	0.873
0.10216 Hz	0.415	1.118	1.358	0.876	0.415	1.118	1.358	0.876	0.415
0.11448 Hz	0.303	0.409	0.434	0.334	0.303	0.409	0.434	0.334	0.303
0.1268 Hz	0.260	0.304	0.376	0.341	0.260	0.304	0.376	0.342	0.260
0.13912 Hz	0.253	0.557	0.763	0.579	0.253	0.561	0.768	0.584	0.253
0.15144 Hz	0.293	0.815	1.120	0.815	0.292	0.838	1.144	0.839	0.293
0.16376 Hz	0.609	0.988	1.330	0.971	0.615	1.322	1.689	1.306	0.609
0.17608 Hz	0.244	1.092	1.557	1.070	0.258	1.305	1.771	1.283	0.244
0.1884 Hz	0.046	1.311	1.835	1.277	0.058	1.338	1.863	1.306	0.046
0.20072 Hz	0.028	1.434	1.999	1.393	0.031	1.436	2.002	1.397	0.028
0.21304 Hz	0.036	1.515	2.108	1.469	0.031	1.507	2.102	1.464	0.036
0.22536 Hz	0.041	1.559	2.168	1.511	0.033	1.546	2.156	1.501	0.041
0.23768 Hz	0.044	1.570	2.181	1.519	0.033	1.553	2.166	1.507	0.044
0.25 Hz	0.045	1.548	2.150	1.498	0.032	1.529	2.133	1.482	0.045

TABLE 9
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Hydrodynamic Graph Results

Object Name	RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)
State	Solved
Details of RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)	
Presentation Method	Surface
Axes Selection	Distance/Rotation vs Frequency & Direction
Frequency or Period Scale	Frequency
Export CSV File	Select CSV File...
Surface	
Structure	SPM HULL
Type	RAOs (Response Amplitude Operators)
Component	Global RY
Position of Min in X	0.201
Position of Max in X	0.078
Position of Min in Y	90
Position of Max in Y	-45
Minimum Value	0.033
Maximum Value	49.558

FIGURE 5
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)

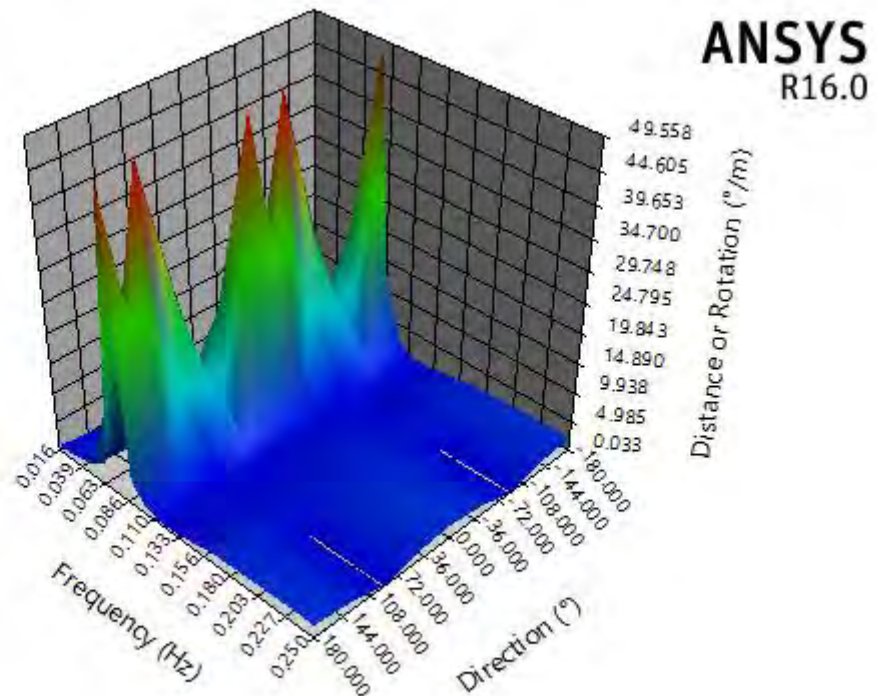


TABLE 10
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)

Frequency	-180°	-135°	-90°	-45°	0.0°	45°	90°	135°	180°
0.01592 Hz	0.828	0.938	0.499	0.233	0.828	0.938	0.499	0.233	0.828
0.02824 Hz	1.012	0.934	0.310	0.498	1.012	0.934	0.310	0.498	1.012
0.04056 Hz	1.425	1.185	0.258	0.832	1.425	1.185	0.258	0.832	1.425
0.05288 Hz	2.175	1.708	0.280	1.375	2.175	1.708	0.280	1.375	2.175
0.0652 Hz	4.080	3.056	0.463	2.743	4.080	3.056	0.463	2.743	4.080
0.07752 Hz	48.671	21.176	23.135	49.558	48.682	21.204	23.149	49.555	48.671
0.08984 Hz	3.955	3.275	0.957	2.416	3.956	3.275	0.957	2.416	3.955
0.10216 Hz	1.324	1.099	0.459	0.869	1.324	1.099	0.459	0.869	1.324
0.11448 Hz	0.442	0.423	0.339	0.363	0.442	0.423	0.339	0.363	0.442
0.1268 Hz	0.415	0.345	0.294	0.373	0.414	0.345	0.295	0.374	0.415
0.13912 Hz	0.793	0.591	0.288	0.598	0.787	0.586	0.288	0.603	0.793
0.15144 Hz	1.166	0.866	0.334	0.830	1.138	0.840	0.333	0.857	1.166
0.16376 Hz	1.750	1.393	0.702	0.999	1.348	1.023	0.692	1.367	1.750
0.17608 Hz	1.797	1.334	0.295	1.064	1.554	1.094	0.275	1.303	1.797
0.1884 Hz	1.870	1.349	0.067	1.275	1.839	1.317	0.052	1.306	1.870
0.20072 Hz	2.006	1.444	0.036	1.392	2.004	1.440	0.033	1.395	2.006
0.21304 Hz	2.105	1.514	0.036	1.469	2.113	1.521	0.041	1.461	2.105
0.22536 Hz	2.158	1.552	0.037	1.511	2.172	1.565	0.046	1.496	2.158
0.23768 Hz	2.166	1.558	0.037	1.520	2.185	1.575	0.048	1.502	2.166
0.25 Hz	2.132	1.533	0.036	1.499	2.154	1.553	0.048	1.477	2.132

TABLE 11
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Hydrodynamic Graph Results

Object Name	RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)
State	Solved
Details of RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)	
Presentation Method	Surface
Axes Selection	Distance/Rotation vs Frequency & Direction
Frequency or Period Scale	Frequency
Export CSV File	Select CSV File...
Surface	
Structure	SPM HULL
Type	RAOs (Response Amplitude Operators)
Component	Global RZ
Position of Min in X	0.201
Position of Max in X	0.016
Position of Min in Y	135
Position of Max in Y	45
Minimum Value	9.1e-4
Maximum Value	3.545

FIGURE 6
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)

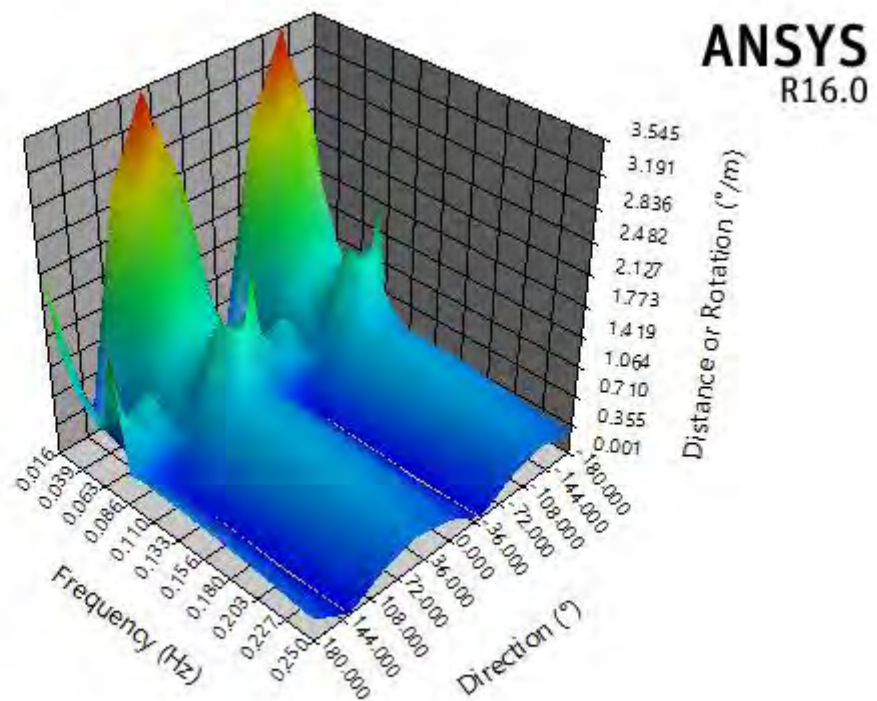


TABLE 12
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)

Frequency	-180°	-135°	-90°	-45°	0.0°	45°	90°	135°	180°
0.01592 Hz	2.350	3.545	2.663	0.222	2.350	3.545	2.663	0.222	2.350
0.02824 Hz	1.353	2.032	1.521	0.119	1.353	2.032	1.521	0.119	1.353
0.04056 Hz	0.977	1.455	1.081	0.074	0.977	1.455	1.081	0.074	0.977
0.05288 Hz	0.795	1.167	0.856	0.043	0.795	1.167	0.856	0.043	0.795
0.0652 Hz	0.723	1.026	0.728	0.009	0.723	1.026	0.728	0.009	0.723
0.07752 Hz	1.705	1.413	0.353	1.017	1.705	1.413	0.354	1.017	1.705
0.08984 Hz	0.387	0.642	0.521	0.096	0.387	0.642	0.521	0.096	0.387
0.10216 Hz	0.420	0.654	0.505	0.060	0.420	0.654	0.505	0.060	0.420
0.11448 Hz	0.419	0.637	0.482	0.045	0.419	0.637	0.482	0.045	0.419
0.1268 Hz	0.414	0.620	0.463	0.035	0.414	0.620	0.463	0.035	0.414
0.13912 Hz	0.407	0.602	0.445	0.028	0.407	0.602	0.444	0.027	0.407
0.15144 Hz	0.398	0.583	0.426	0.021	0.397	0.582	0.425	0.021	0.398
0.16376 Hz	0.391	0.565	0.411	0.024	0.381	0.555	0.401	0.017	0.391
0.17608 Hz	0.376	0.538	0.387	0.012	0.370	0.532	0.381	0.008	0.376
0.1884 Hz	0.357	0.509	0.362	0.004	0.357	0.508	0.361	0.003	0.357
0.20072 Hz	0.340	0.480	0.338	0.001	0.340	0.479	0.338	0.001	0.340
0.21304 Hz	0.321	0.449	0.315	0.005	0.321	0.449	0.315	0.004	0.321
0.22536 Hz	0.301	0.418	0.290	0.008	0.301	0.418	0.290	0.007	0.301
0.23768 Hz	0.280	0.386	0.266	0.010	0.280	0.386	0.266	0.009	0.280
0.25 Hz	0.258	0.353	0.242	0.012	0.258	0.353	0.242	0.011	0.258

TABLE 13
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Hydrodynamic Graph Results

Object Name	RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)
State	Solved
Details of RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)	
Presentation Method	Surface
Axes Selection	Phase Angle vs Frequency & Direction
Frequency or Period Scale	Frequency
Export CSV File	Select CSV File...
Surface	
Structure	SPM HULL
Type	RAOs (Response Amplitude Operators)
Component	Global X
Position of Min in X	0.065
Position of Max in X	0.176
Position of Min in Y	90
Position of Max in Y	90
Minimum Value	-143.599
Maximum Value	169.503

FIGURE 7
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)

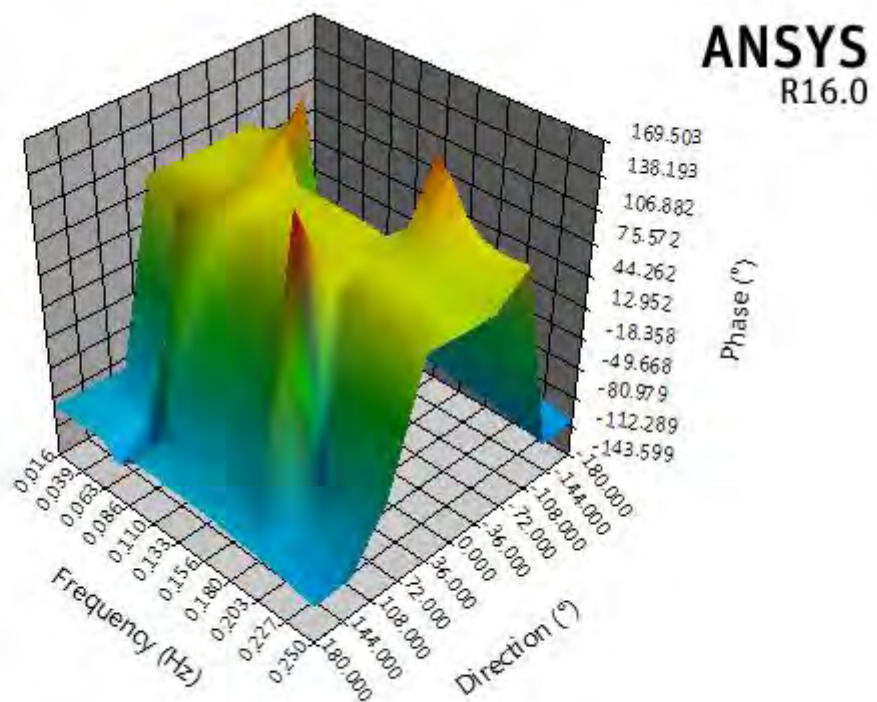


TABLE 14
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)

Frequency	-180°	-135°	-90°	-45°	0.0°	45°	90°	135°	180°
0.01592 Hz	-89.927	-89.996	90.560	89.901	89.925	89.993	-90.563	-89.903	-89.927
0.02824 Hz	-89.876	-90.002	93.274	89.827	89.869	89.995	-93.287	-89.835	-89.876
0.04056 Hz	-89.835	-90.026	100.339	89.763	89.818	90.009	-100.374	-89.780	-89.835
0.05288 Hz	-89.823	-90.097	114.905	89.731	89.788	90.063	-114.992	-89.766	-89.823
0.0652 Hz	-89.933	-90.349	143.398	89.856	89.868	90.284	-143.599	-89.920	-89.933
0.07752 Hz	-104.186	-103.234	-115.191	129.673	104.163	103.187	115.089	-129.699	-104.186
0.08984 Hz	-89.082	-89.358	-39.863	88.397	88.794	89.066	39.111	-88.681	-89.082
0.10216 Hz	-89.244	-89.696	-19.082	88.371	88.733	89.183	18.004	-88.878	-89.244
0.11448 Hz	-89.348	-89.948	-7.741	88.038	88.429	89.026	6.427	-88.954	-89.348
0.1268 Hz	-89.525	-90.277	-0.411	87.480	87.923	88.671	-0.680	-89.077	-89.525
0.13912 Hz	-89.825	-90.737	4.696	86.656	87.175	88.079	-4.297	-89.300	-89.825
0.15144 Hz	-90.254	-91.312	8.811	85.471	86.101	87.148	-3.158	-89.611	-90.254
0.16376 Hz	-90.455	-91.486	22.928	83.374	84.300	85.318	17.294	-89.487	-90.455
0.17608 Hz	-93.076	-94.993	148.551	83.903	84.278	86.155	169.503	-92.670	-93.076
0.1884 Hz	-94.038	-96.043	132.295	81.375	81.990	83.936	-134.246	-93.372	-94.038
0.20072 Hz	-95.611	-97.850	106.182	78.908	79.644	81.791	-86.864	-94.796	-95.611
0.21304 Hz	-97.572	-100.089	93.220	76.154	76.989	79.369	-69.641	-96.620	-97.572
0.22536 Hz	-99.903	-102.726	89.339	73.043	73.971	76.600	-61.981	-98.812	-99.903
0.23768 Hz	-102.626	-105.777	89.337	69.531	70.552	73.441	-57.045	-101.389	-102.626
0.25 Hz	-105.782	-109.283	91.012	65.563	66.680	69.843	-52.910	-104.393	-105.782

TABLE 15
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Hydrodynamic Graph Results

Object Name	RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)
State	Solved
Details of RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)	
Presentation Method	Surface
Axes Selection	Phase Angle vs Frequency & Direction
Frequency or Period Scale	Frequency
Export CSV File	Select CSV File...
Surface	
Structure	SPM HULL
Type	RAOs (Response Amplitude Operators)
Component	Global Y
Position of Min in X	0.127
Position of Max in X	0.127
Position of Min in Y	180
Position of Max in Y	0.0
Minimum Value	-179.058
Maximum Value	178.133

FIGURE 8
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)

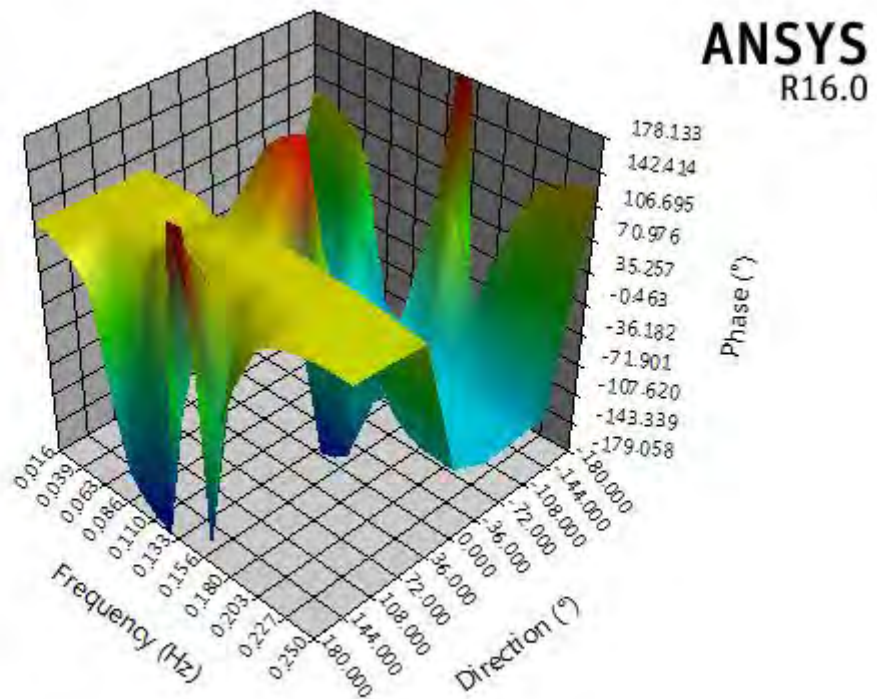


TABLE 16**Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)**

Frequency	-180°	-135°	-90°	-45°	0.0°	45°	90°	135°	180°
0.01592 Hz	89.564	-89.993	-90.066	-90.099	-89.568	89.991	90.064	90.096	89.565
0.02824 Hz	87.275	-89.984	-90.116	-90.174	-87.290	89.976	90.109	90.167	87.279
0.04056 Hz	81.438	-89.962	-90.161	-90.241	-81.476	89.945	90.144	90.224	81.439
0.05288 Hz	69.735	-89.906	-90.189	-90.283	-69.820	89.871	90.154	90.248	69.738
0.0652 Hz	47.421	-89.705	-90.124	-90.191	-47.611	89.641	90.059	90.127	47.423
0.07752 Hz	-61.133	-78.644	-79.519	-67.754	61.024	78.600	79.492	67.740	-61.133
0.08984 Hz	-138.931	-90.759	-91.082	-91.517	138.189	90.467	90.793	91.232	-138.931
0.10216 Hz	-158.944	-90.647	-91.146	-91.568	157.878	90.134	90.635	91.060	-158.947
0.11448 Hz	-171.134	-90.788	-91.438	-91.907	169.874	89.866	90.519	90.991	-171.138
0.1268 Hz	-179.054	-91.116	-91.924	-92.466	178.133	89.511	90.323	90.869	-179.058
0.13912 Hz	176.718	-91.673	-92.647	-93.284	-175.925	89.016	89.997	90.641	176.714
0.15144 Hz	177.559	-92.557	-93.685	-94.453	-171.151	88.393	89.533	90.315	177.556
0.16376 Hz	-161.880	-94.277	-95.407	-96.474	-156.561	88.103	89.249	90.359	-161.880
0.17608 Hz	-9.220	-93.593	-95.535	-96.133	-30.570	84.759	86.739	87.375	-9.220
0.1884 Hz	45.283	-95.721	-97.757	-98.610	-46.801	83.619	85.712	86.627	45.282
0.20072 Hz	90.563	-97.807	-100.060	-101.058	-74.015	81.753	84.095	85.194	90.558
0.21304 Hz	108.025	-100.172	-102.675	-103.802	-88.418	79.456	82.094	83.373	108.025
0.22536 Hz	115.788	-102.879	-105.654	-106.907	-93.743	76.753	79.721	81.193	115.785
0.23768 Hz	120.327	-105.968	-109.035	-110.419	-95.234	73.627	76.957	78.639	120.326
0.25 Hz	123.399	-109.493	-112.871	-114.391	-95.134	70.040	73.758	75.664	123.395

TABLE 17
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Hydrodynamic Graph Results

Object Name	RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)
State	Solved
Details of RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)	
Presentation Method	Surface
Axes Selection	Phase Angle vs Frequency & Direction
Frequency or Period Scale	Frequency
Export CSV File	Select CSV File...
Surface	
Structure	SPM HULL
Type	RAOs (Response Amplitude Operators)
Component	Global Z
Position of Min in X	0.25
Position of Max in X	0.201
Position of Min in Y	-45
Position of Max in Y	135
Minimum Value	-48.367
Maximum Value	164.682

FIGURE 9
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)

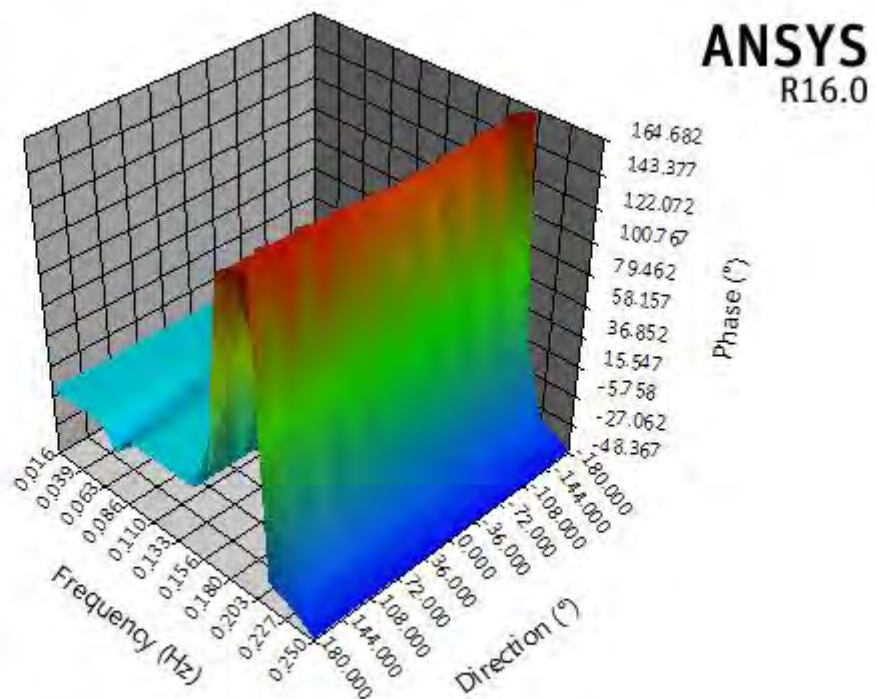


TABLE 18**Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)**

Frequency	-180°	-135°	-90°	-45°	0.0°	45°	90°	135°	180°
0.01592 Hz	-0.025	-0.002	0.022	0.033	0.025	0.002	-0.023	-0.034	-0.025
0.02824 Hz	-0.056	-0.005	0.050	0.074	0.055	0.003	-0.051	-0.075	-0.056
0.04056 Hz	-0.117	-0.011	0.100	0.151	0.111	0.005	-0.106	-0.156	-0.117
0.05288 Hz	-0.258	-0.027	0.215	0.325	0.239	0.008	-0.233	-0.343	-0.258
0.0652 Hz	-0.709	-0.070	0.596	0.898	0.659	0.020	-0.645	-0.947	-0.709
0.07752 Hz	-14.829	-0.099	14.703	20.391	14.774	0.016	-14.757	-20.421	-14.829
0.08984 Hz	1.380	0.006	-1.448	-2.129	-1.639	-0.265	1.188	1.870	1.380
0.10216 Hz	0.725	-0.177	-1.125	-1.565	-1.240	-0.339	0.610	1.051	0.725
0.11448 Hz	0.403	-0.393	-1.229	-1.614	-1.326	-0.532	0.303	0.691	0.403
0.1268 Hz	0.143	-0.642	-1.464	-1.842	-1.558	-0.777	0.046	0.428	0.143
0.13912 Hz	0.130	-0.691	-1.548	-1.939	-1.642	-0.829	0.028	0.427	0.130
0.15144 Hz	1.455	0.566	-0.359	-0.779	-0.457	0.419	1.345	1.777	1.455
0.16376 Hz	16.740	15.730	14.682	14.210	14.574	15.567	16.615	17.105	16.740
0.17608 Hz	151.742	150.515	149.242	148.669	149.112	150.324	151.595	152.184	151.742
0.1884 Hz	159.125	157.361	155.525	154.689	155.329	157.103	158.933	159.760	159.125
0.20072 Hz	162.285	155.857	149.297	146.225	148.467	155.051	161.757	164.682	162.286
0.21304 Hz	-30.035	-28.916	-27.478	-26.674	-27.222	-28.816	-30.088	-30.437	-30.035
0.22536 Hz	-34.114	-34.138	-33.982	-33.802	-33.895	-34.185	-34.234	-34.114	-34.114
0.23768 Hz	-39.984	-40.417	-40.696	-40.731	-40.685	-40.518	-40.122	-39.833	-39.984
0.25 Hz	-46.844	-47.579	-48.167	-48.367	-48.233	-47.722	-46.984	-46.573	-46.844

TABLE 19
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Hydrodynamic Graph Results

Object Name	RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)
State	Solved
Details of RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)	
Presentation Method	Surface
Axes Selection	Phase Angle vs Frequency & Direction
Frequency or Period Scale	Frequency
Export CSV File	Select CSV File...
Surface	
Structure	SPM HULL
Type	RAOs (Response Amplitude Operators)
Component	Global RX
Position of Min in X	0.188
Position of Max in X	0.176
Position of Min in Y	180
Position of Max in Y	-180
Minimum Value	-171.519
Maximum Value	155.071

FIGURE 10
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)

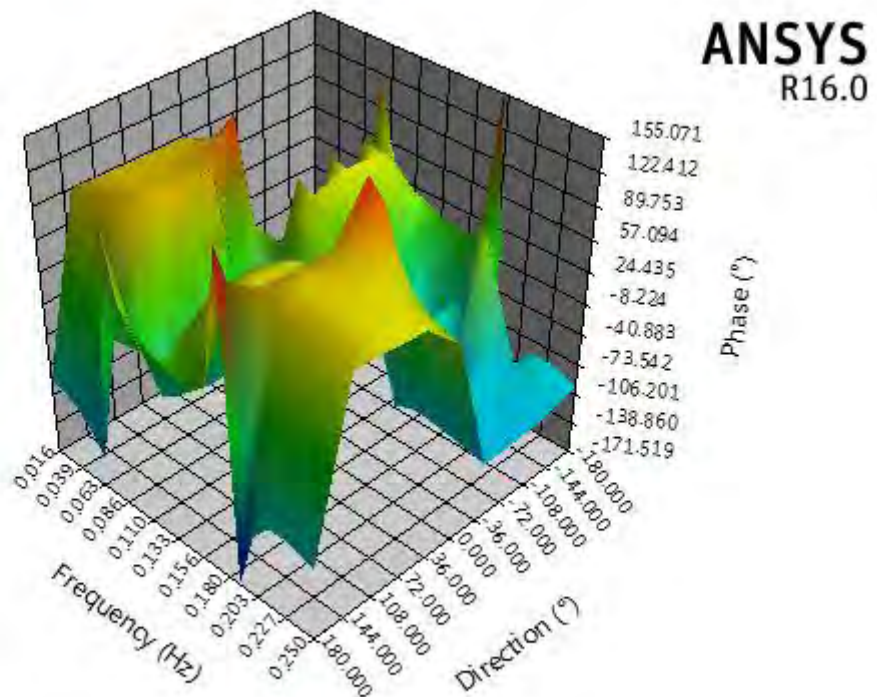


TABLE 20**Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)**

Frequency	-180°	-135°	-90°	-45°	0.0°	45°	90°	135°	180°
0.01592 Hz	-90.702	-90.372	-90.474	-91.309	90.700	90.370	90.471	91.307	-90.702
0.02824 Hz	-94.148	-91.349	-91.359	-92.641	94.141	91.341	91.352	92.634	-94.149
0.04056 Hz	-102.232	-92.655	-92.396	-94.068	102.216	92.638	92.379	94.051	-102.232
0.05288 Hz	-116.489	-94.241	-93.606	-95.734	116.458	94.206	93.571	95.699	-116.488
0.0652 Hz	-139.583	-96.390	-95.183	-97.855	139.533	96.326	95.119	97.791	-139.583
0.07752 Hz	118.760	-110.302	-100.336	-101.148	-118.552	110.291	100.394	101.248	118.760
0.08984 Hz	43.131	78.837	80.376	74.410	-43.422	-79.129	-80.666	-74.698	43.131
0.10216 Hz	26.843	70.403	73.298	63.752	-27.364	-70.917	-73.811	-64.265	26.843
0.11448 Hz	17.017	44.617	46.923	28.366	-17.940	-45.544	-47.849	-29.287	17.017
0.1268 Hz	9.779	-33.285	-48.626	-43.269	-11.202	31.809	47.107	41.771	9.779
0.13912 Hz	4.361	-64.327	-73.060	-67.019	-5.915	61.894	70.522	64.571	4.361
0.15144 Hz	1.801	-70.973	-78.158	-72.868	-0.950	67.457	74.342	69.337	1.801
0.16376 Hz	15.686	-57.026	-68.716	-58.670	15.190	60.788	68.171	62.518	15.686
0.17608 Hz	155.071	-106.213	-104.375	-109.005	144.924	95.422	94.520	98.116	155.071
0.1884 Hz	-171.518	-97.829	-99.251	-100.734	130.276	85.687	87.182	88.706	-171.519
0.20072 Hz	-107.619	-98.037	-100.213	-101.260	85.530	81.981	84.247	85.399	-107.620
0.21304 Hz	-87.291	-99.840	-102.426	-103.429	57.553	79.119	81.839	83.003	-87.290
0.22536 Hz	-86.285	-102.363	-105.273	-106.349	45.851	76.230	79.332	80.638	-86.285
0.23768 Hz	-90.413	-105.407	-108.623	-109.818	39.401	73.055	76.533	78.044	-90.412
0.25 Hz	-96.403	-108.942	-112.468	-113.804	34.438	69.473	73.339	75.088	-96.403

TABLE 21
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Hydrodynamic Graph Results

Object Name	RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)
State	Solved
Details of RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)	
Presentation Method	Surface
Axes Selection	Phase Angle vs Frequency & Direction
Frequency or Period Scale	Frequency
Export CSV File	Select CSV File...
Surface	
Structure	SPM HULL
Type	RAOs (Response Amplitude Operators)
Component	Global RY
Position of Min in X	0.188
Position of Max in X	0.176
Position of Min in Y	90
Position of Max in Y	90
Minimum Value	-168.744
Maximum Value	155.753

FIGURE 11
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)

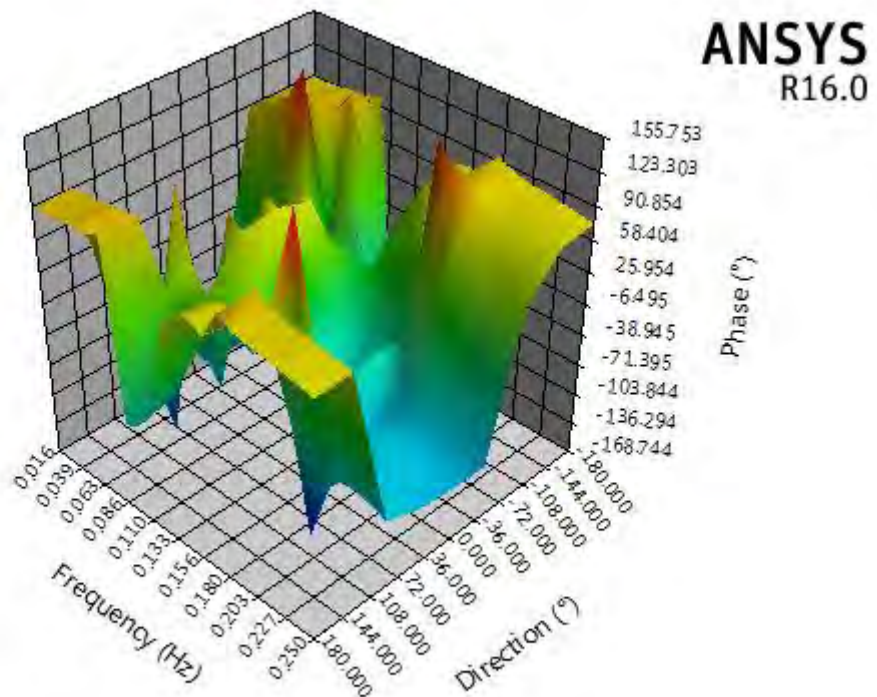


TABLE 22**Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)**

Frequency	-180°	-135°	-90°	-45°	0.0°	45°	90°	135°	180°
0.01592 Hz	90.615	90.483	90.831	-92.023	-90.617	-90.485	-90.833	92.021	90.615
0.02824 Hz	91.663	91.667	94.884	-93.296	-91.670	-91.674	-94.891	93.289	91.663
0.04056 Hz	92.850	93.208	104.641	-94.829	-92.868	-93.225	-104.658	94.812	92.850
0.05288 Hz	94.224	95.068	122.287	-96.664	-94.259	-95.103	-122.316	96.629	94.224
0.0652 Hz	96.019	97.627	150.834	-98.995	-96.083	-97.691	-150.881	98.932	96.019
0.07752 Hz	101.909	117.130	-114.929	-101.751	-101.837	-117.146	115.139	101.868	101.909
0.08984 Hz	-79.093	-77.361	-41.648	71.758	78.803	77.070	41.358	-72.044	-79.093
0.10216 Hz	-71.011	-67.623	-24.030	59.807	70.498	67.109	23.509	-60.322	-71.011
0.11448 Hz	-41.411	-39.063	-14.626	23.267	40.487	38.141	13.701	-24.192	-41.411
0.1268 Hz	45.313	31.364	-8.346	-40.469	-46.825	-32.840	6.923	38.979	45.313
0.13912 Hz	68.557	59.651	-3.703	-64.124	-71.070	-62.046	2.154	61.718	68.557
0.15144 Hz	72.701	65.437	0.502	-70.244	-76.438	-68.820	0.360	66.861	72.701
0.16376 Hz	66.252	58.702	15.764	-54.034	-65.462	-53.043	15.151	59.996	66.252
0.17608 Hz	95.631	96.830	144.476	-110.852	-105.777	-108.145	155.753	99.371	95.631
0.1884 Hz	87.609	86.239	128.848	-101.039	-99.687	-98.395	-168.744	88.981	87.609
0.20072 Hz	84.548	82.361	84.349	-101.320	-100.517	-98.420	-106.375	85.430	84.548
0.21304 Hz	82.132	79.488	56.139	-103.424	-102.719	-100.209	-86.686	82.952	82.132
0.22536 Hz	79.653	76.644	43.769	-106.327	-105.592	-102.774	-85.580	80.547	79.653
0.23768 Hz	76.893	73.545	36.773	-109.792	-108.977	-105.885	-89.882	77.919	76.893
0.25 Hz	73.745	70.056	31.496	-113.778	-112.861	-109.500	-96.511	74.927	73.745

TABLE 23

Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Hydrodynamic Graph Results

Object Name	RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)
State	Solved
Details of RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)	
Presentation Method	Surface
Axes Selection	Phase Angle vs Frequency & Direction
Frequency or Period Scale	Frequency
Export CSV File	Select CSV File...
Surface	
Structure	SPM HULL
Type	RAOs (Response Amplitude Operators)
Component	Global RZ
Position of Min in X	0.065
Position of Max in X	0.065
Position of Min in Y	135
Position of Max in Y	-45
Minimum Value	-158.27
Maximum Value	158.22

FIGURE 12

Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)

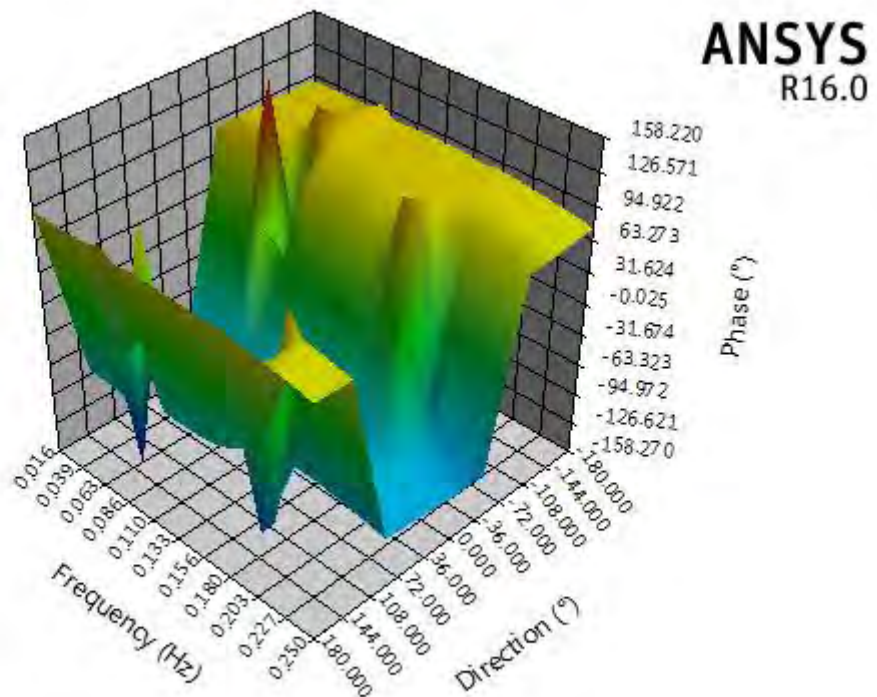


TABLE 24**Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Phase Angle vs Frequency & Direction)**

Frequency	-180°	-135°	-90°	-45°	0.0°	45°	90°	135°	180°
0.01592 Hz	90.081	90.010	89.940	89.971	-90.083	-90.012	-89.942	-89.973	90.081
0.02824 Hz	90.157	90.025	89.902	90.113	-90.164	-90.033	-89.909	-90.120	90.157
0.04056 Hz	90.273	90.065	89.893	90.834	-90.290	-90.082	-89.911	-90.852	90.273
0.05288 Hz	90.483	90.164	89.965	93.916	-90.517	-90.199	-90.000	-93.951	90.483
0.0652 Hz	91.002	90.484	90.353	158.220	-91.067	-90.548	-90.417	-158.270	91.002
0.07752 Hz	97.534	98.575	125.996	-102.437	-97.501	-98.615	-126.263	102.574	97.534
0.08984 Hz	88.093	88.516	87.684	79.906	-88.385	-88.808	-87.976	-80.196	88.093
0.10216 Hz	89.159	89.002	88.139	80.255	-89.672	-89.515	-88.652	-80.767	89.159
0.11448 Hz	89.362	88.966	87.995	79.464	-90.285	-89.888	-88.917	-80.382	89.362
0.1268 Hz	89.282	88.691	87.569	77.635	-90.888	-90.297	-89.174	-79.224	89.282
0.13912 Hz	88.939	88.169	86.854	74.103	-91.597	-90.827	-89.510	-76.671	88.939
0.15144 Hz	88.223	87.308	85.739	66.308	-92.386	-91.471	-89.899	-69.787	88.223
0.16376 Hz	86.323	85.532	83.454	47.070	-92.481	-91.706	-89.587	-31.784	86.323
0.17608 Hz	88.330	86.366	84.856	112.560	-97.177	-95.204	-93.692	-140.157	88.330
0.1884 Hz	86.256	84.256	82.299	102.503	-98.354	-96.361	-94.400	-117.182	86.256
0.20072 Hz	84.403	82.186	79.911	-123.570	-100.445	-98.243	-95.965	104.163	84.403
0.21304 Hz	82.318	79.835	77.254	-104.653	-103.010	-100.555	-97.972	82.327	82.318
0.22536 Hz	79.914	77.140	74.244	-106.526	-105.995	-103.269	-100.375	79.109	79.913
0.23768 Hz	77.141	74.059	70.834	-109.810	-109.410	-106.403	-103.184	76.286	77.141
0.25 Hz	73.949	70.540	66.968	-113.697	-113.294	-109.996	-106.437	73.127	73.949

TABLE 25
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Hydrodynamic Graph Results

Object Name	<i>Radiation Damping (Force/Moment vs Frequency)</i>
State	Solved
Details of Radiation Damping (Force/Moment vs Frequency)	
Presentation Method	Line
Axes Selection	Force/Moment vs Frequency
Frequency or Period Scale	Frequency
Export CSV File	Select CSV File...
Line A	
Structure	SPM HULL
Type	Radiation Damping
SubType	Global X
Component	Global X
Position of Min in X	0.016
Position of Max in X	0.225
Minimum Value	3.35
Maximum Value	390294.719
Line B	
Structure	SPM HULL
Type	Radiation Damping
SubType	Global Y
Component	Global Y
Position of Min in X	0.016
Position of Max in X	0.225
Minimum Value	3.353
Maximum Value	390402.094
Line C	
Structure	SPM HULL
Type	Radiation Damping
SubType	Global RZ
Component	Global RZ
Position of Min in X	0.016
Position of Max in X	0.225
Minimum Value	0.007
Maximum Value	799.688
Line D	
Structure	Undefined...

FIGURE 13
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Radiation Damping
(Force/Moment vs Frequency)

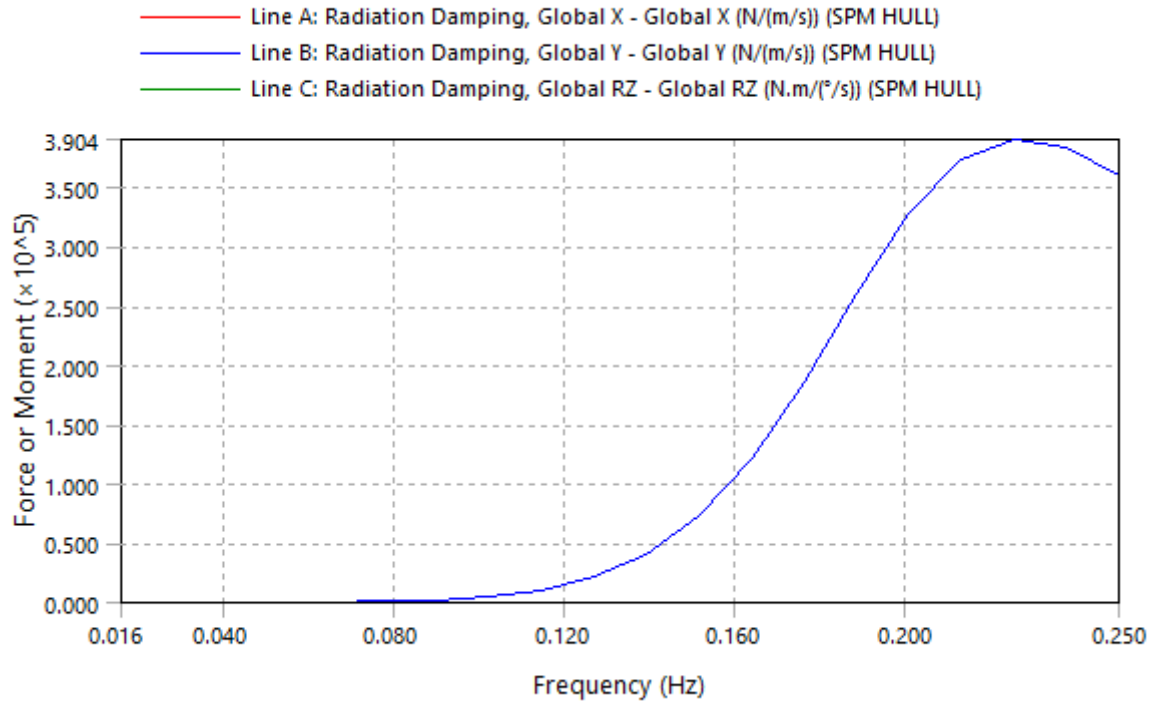


TABLE 26
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Radiation Damping
(Force/Moment vs Frequency)

	Line A (N/(m/s))	Line B (N/(m/s))	Line C (N.m/(°/s))
0.01592 Hz	3.350	3.353	0.007
0.02824 Hz	20.411	20.424	0.042
0.04056 Hz	69.416	69.460	0.142
0.05288 Hz	186.297	186.421	0.382
0.0652 Hz	447.282	447.593	0.917
0.07752 Hz	1019.092	1019.837	2.090
0.08984 Hz	2265.126	2266.895	4.646
0.10216 Hz	4944.034	4948.220	10.141
0.11448 Hz	10493.854	10503.590	21.526
0.1268 Hz	21290.191	21312.051	43.676
0.13912 Hz	40715.227	40761.688	83.531
0.15144 Hz	72861.492	72952.555	149.491
0.16376 Hz	121331.852	121492.844	248.941
0.17608 Hz	186285.391	186531.750	382.179
0.1884 Hz	260370.953	260682.625	534.067
0.20072 Hz	328144.344	328453.500	672.866
0.21304 Hz	373610.094	373837.188	765.796
0.22536 Hz	390294.719	390402.094	799.688
0.23768 Hz	382801.406	382803.094	784.084
0.25 Hz	360460.313	360395.438	738.141

TABLE 27
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Hydrodynamic Graph Results

Object Name	<i>Added Mass (Force/Moment vs Frequency)</i>
State	Solved
Details of Added Mass (Force/Moment vs Frequency)	
Presentation Method	Line
Axes Selection	Force/Moment vs Frequency
Frequency or Period Scale	Frequency
Export CSV File	Select CSV File...
Line A	
Structure	SPM HULL
Type	Added Mass
SubType	Global X
Component	Global X
Position of Min in X	0.25
Position of Max in X	0.164
Minimum Value	38263.727
Maximum Value	310036.969
Line B	
Structure	SPM HULL
Type	Added Mass
SubType	Global Y
Component	Global Y
Position of Min in X	0.25
Position of Max in X	0.164
Minimum Value	38135.445
Maximum Value	310177.594
Line C	
Structure	SPM HULL
Type	Added Mass
SubType	Global RZ
Component	Global RZ
Position of Min in X	0.25
Position of Max in X	0.164
Minimum Value	3557.751
Maximum Value	4038.992
Line D	
Structure	Undefined...

FIGURE 14
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Added Mass (Force/Moment vs Frequency)

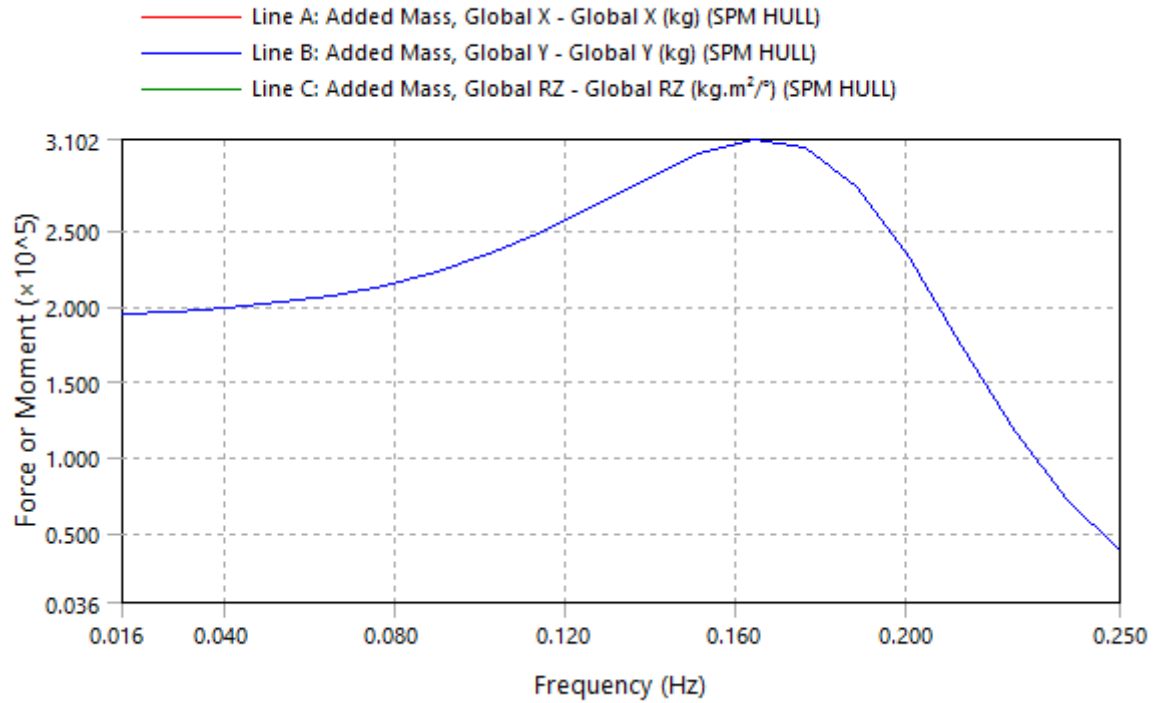


TABLE 28
Model (A3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Added Mass (Force/Moment vs Frequency)

	Line A (kg)	Line B (kg)	Line C (kg.m ² /°)
0.01592 Hz	194300.891	194354.891	3756.372
0.02824 Hz	195863.172	195918.453	3760.430
0.04056 Hz	198385.313	198441.906	3766.975
0.05288 Hz	202017.906	202077.797	3776.253
0.0652 Hz	207003.359	207066.891	3788.733
0.07752 Hz	213688.391	213757.359	3805.311
0.08984 Hz	222536.328	222612.094	3826.871
0.10216 Hz	234053.406	234139.688	3854.390
0.11448 Hz	248549.078	248648.844	3888.633
0.1268 Hz	265720.375	265836.844	3929.007
0.13912 Hz	284145.250	284280.406	3972.407
0.15144 Hz	300712.938	300860.469	4012.778
0.16376 Hz	310036.969	310177.594	4038.992
0.17608 Hz	304782.094	304877.594	4036.041
0.1884 Hz	278638.188	278644.750	3991.033
0.20072 Hz	231797.000	231696.156	3904.524
0.21304 Hz	173513.875	173336.672	3795.641
0.22536 Hz	116861.781	116664.695	3691.312
0.23768 Hz	70915.609	70743.797	3610.221
0.25 Hz	38263.727	38135.445	3557.751

A.2. Tabel Offset Lambung Tanker 125.000 DWT

(Original Framing)			Offset of water line above baseline																										
			0.00	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00	
AE	-7.00	AE																											
-7	-5.60	-7																		3.5	6.9	9.8	12.1	13.9					
-6	-4.80	-6																	0.7	4.4	7.7	10.6	12.8	14.6					
-5	-4.00	-5																	1.5	5.3	8.7	11.4	13.5	15.3					
-4	-3.20	-4																	2.5	6.2	9.4	12.1	14.3	16.1					
-3	-2.40	-3																	3.3	7.1	10.3	12.9	15	16.8					
-2	-1.60	-2															0.4	4.4	8		11.1	13.6	15.7	17.5					
-1	-0.80	-1															1.4	5.2	8.8	11.9	14.4	16.5	18.1						
0	0.00	0															2.3	6.3	9.7	12.7	15.1	17.2	18.9						
1-5	0.80	1-5															3.3	7.1	10.4	13.4	15.9	17.9	19.6						
6	1.60	6											0.3	4.2	8		11.4	14.2		16.65	18.6	20.3							
7	2.40	7											1.3	5.1	8.8		12.1	14.9		17.4	19.3	21							
8	3.20	8											2.2	6	9.7		13	15.7		18.1	20.1	21.6							
9	4.00	9											3.1	7	10.6		13.8	16.5		18.8	20.7	22.3							
10	4.80	10											0.1	4.1	8		11.5	14.5		17.2	19.5	21.4	22.9						
11	5.60	11											1.1	5.1	8.9		12.3	15.3		18	20.2	22.1	23.5						
12	6.40	12											2	6	9.7		13.2	16.1		18.7	20.9	22.7	24.2						
13	7.20	13					1.5	2	1.65	1	0.15		3	6.9	10.7		13.9	16.9		19.4	21.6	23.4	24.8						
14	8.00	14	0.95	0.8	0.7	0.55	1.7	2.6	2.9	2.5	1.8	1	0.3	0.25	1.1	4.1	8	11.5	14.7	17.7	20.15	22.3	24.1	25.4					
15	8.80	15	0.95	1.3	1.6	2.05	2.9	3.5	3.6	3.2	2.6	1.9	1.2	1.3	2.2	5.1	8.9	12.3	15.5	18.4	20.7	22.9	24.7	26					
16	9.60	16	0.95	1.7	2.2	3	3.8	4.2	4.25	3.9	3.4	2.7	2.2	2.3	3.3	6.1	9.9	13.2	16.3	19.2	21.5	23.6	25.3	26.6					
17	10.40	17	1.1	2.1	2.8	3.8	4.5	5	4.9	4.6	4.15	3.5	3.1	3.3	4.3	7.2	10.8	14.1	17.15	19.9	22.2	24.3	25.9	27.1					
18	11.20	18	1.1	2.3	3.3	4.45	5.2	5.55	5.5	5.3	4.9	4.4	4	4.2	5.5	8.15	11.7	14.8	17.9	20.6	22.9	24.9	26.5	27.7					
19	12.00	19	1.1	2.6	3.8	5.1	5.8	6.1	6.2	6	5.6	5.2	4.9	5.2	6.5	9.1	12.5	15.6	18.7	21.2	23.5	25.5	27	28.3					
20	12.80	20	1.3	3	4.2	5.5	6.3	6.7	6.85	6.7	6.4	6	5.8	6.1	7.6	10.1	13.4	16.5	19.4	22	24.2	26.1	27.6	28.9					
21	13.60	21	1.5	3.4	4.6	6	6.8	7.3	7.5	7.4	7.1	6.8	6.65	7.1	8.5	11.1	14.3	17.3	20.15	22.6	24.9	26.7	28.1	29.45					
22	14.40	22	1.7	3.7	4.95	6.5	7.4	7.95	8.15	8.1	7.9	7.7	7.55	8.05	9.5	12.1	15.1	18.1	20.9	23.3	25.5	27.2	28.7	29.95					
23	15.20	23	1.85	4	5.3	7	7.9	8.5	8.85	8.8	8.65	8.45	8.4	8.95	10.5	13	16.1	18.9	21.6	24	26.1	27.95	29.3	30.5					
24	16.00	24	2.05	4.3	5.7	7.5	8.5	9.1	9.5	9.2	9.4	9.3	9.35	9.9	11.5	13.9	16.9	19.6	22.3	24.6	26.6	28.4	29.9	31					
25	16.80	25	2.4	4.6	6.1	7.9	9	9.7	10.1	10.2	10.15	10.05	10.2	10.8	12.4	14.8	17.7	20.5	23	25.2	27.25	29	30.4	31.5					
26	17.60	26	2.6	5	6.4	8.4	9.5	10.3	10.7	10.9	10.92	10.94	11	11.7	13.3	15.7	18.5	21.2	23.7	25.9	27.8	29.6	30.9	31.95					
27	18.40	27	3	5.4	6.9	8.9	10.1	10.9	11.4	11.57	11.6	11.7	11.9	12.6	14.2	16.6	19.2	21.8	24.3	26.5	28.45	30.1	31.4	32.4					
28	19.20	28	3.3	5.8	7.3	9.4	10.7	11.5	12.05	12.3	12.4	12.5	12.8	13.45	15.1	17.4	20.1	22.5	25	27.1	28.95	30.5	31.8	32.8					
29	20.00	29	3.55	6.2	7.65	9.9	11.2	12.1	12.7	13	13.1	13.25	13.55	14.3	16.1	18.3	20.9	23.3	25.6	27.7	29.5	31.1	32.3	33.2					
30	20.80	30	3.9	6.5	8.2	10.4	11.8	12.7	13.3	13.7	13.9	14	14.4	15.2	16.9	19.1	21.6	24	26.2	28.3	30.1	31.5	32.7	33.7					
31	21.60	31	4.2	6.8	8.6	10.9	12.3	13.3	14	14.35	14.6	14.8	15.2	16.1	17.7	20	22.3	24.6	26.75	28.8	30.6	32	33.1	34.15					
32	22.40	32	4.5	7.4	9	11.4	12.9	14	14.6	15	15.2	15.5	16.1	17	18.5	20.7	23	25.3	27.4	29.4	31.1	32.4	33.5	34.5					
33	23.20	33	4.8	7.8	9.6	11.9	13.4	14.4	15.15	15.7	16.1	16.4	16.85	17.7	19.4	21.5	23.7	25.9	28.05	29.9	31.5	32.9	34	34.9					
34	24.00	34	5.2	8.25	10	12.4	14	15	15.9	16.5	16.8	17.2	17.7	18.6	20.3	22.2	24.5	26.5	28.6	30.5	32	33.3	34.4	35.2					
35	24.80	35	5.65	8.6	10.45	12.9	14.5	15.6	16.55	17.15	17.5	17.85	18.4	19.4	21.1	23	25.1	27.1	29.2	30.95	32.45	33.7	34.75	35.6					
36	25.60	36	5.9	9.1	11	13.4	15	16.3	17.2	17.8	18.2	18.65	19.2	20.3	21.8	23.7	25.8	27.7	29.7	31.4	32.9	34.1	35.1	36					
37	26.40	37	6.3	9.5	11.4	14	15.6	16.9	17.8	18.5	18.9	19.4	20.05	21	22.6	24.5	26.4	28.4	30.2	31.8	33.2	34.5	35.4	36.35					
38	27.20	38	6.7	9.9	11.9	14.5	16.3	17.5	18.5	19.2	19.7	20.15	20.8	21.8	23.4	25.2	27	29	30.8	32.3	33.7	34.9	35.8	36.7					
39	28.00	39	7.1	10.4	12.4	14.9	16.9	18.1	19.1	19.8	20.4	20.9	21.6	22.6	24.2	25.9	27.7	29.6	31.3	32.8	34.1	35.2	36.2	37					
40	28.80	40	7.5	10.9	12.7	15.5	17.5	18.75	19.7	20.5	21.1	21.7	22.3	23.4	24.9	26.5	28.3	30.1	31.7	33.2	34.5	35.55	36.6	37.3					
41	29.60	41	8.1	11.3	13.3	16.2	18	19.4	20.4	21.25	21.85	22.35	23	24.2	25.7	27.25	29	30.7	32.2	33.6	34.9	36	36.9	37.6					
42	30.40	42	8.4	11.75	13.85	16.8	18.7	20	21.1	21.9	22.35	23	23.8	24.9	26.3	27.8	29.6	31.2	32.6	34	35.2	36.3	37.2	37.9					
43	31.20	43	8.75	12.3																									

(Original Framing)		Offset of water line above baseline																										
		0.00	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00	
55	40.80	55	14.3	18.4	20.9	24.2	26.3	27.8	29	30	30.9	31.7	32.5	33.3	34.2	35	35.95	36.85	37.6	38.4	39.1	39.8	40.4	40.9				
56	41.60	56	14.5	19	21.5	24.7	26.9	28.4	29.6	30.6	31.2	32.3	33.05	33.9	34.7	35.5	36.35	37.2	37.9	38.63	39.4	40	40.6	41.1				
57	42.40	57	15.35	19.5	22	25.2	27.4	28.9	30.2	31.2	32	32.8	33.55	34.3	35.15	36	36.7	37.5	38.2	38.9	39.6	40.2	40.8	41.2				
58	43.20	58	16	20	22.55	25.8	28	29.5	30.7	31.7	32.6	33.35	34.1	34.9	35.6	36.4	37.1	37.8	38.5	39.2	39.85	40.4	40.95	41.4				
59	44.00	59	16.3	20.7	23.1	26.3	28.55	30.05	31.3	32.3	33.1	33.9	34.65	35.4	36.15	36.85	37.5	38.2	38.8	39.45	40.1	40.6	41.1	41.5				
60	49.00	60	19.3	24.1	26.5	29.7	31.8	33.2	34.4	35.2	36.1	36.8	37.5	38	38.6	39.1	39.55	40	40.4	40.85	41.25	41.6	42	42.3				
61	54.00	61	23	27.5	29.7	32.7	34.55	36	37	37.8	38.55	39.2	39.7	40.1	40.5	40.8	41.1	41.4	41.6	41.9	42.1	42.4	42.6	42.8				
62	59.00	62	26.4	30.45	32.5	35.2	37	38.2	39.2	39.85	40.4	40.9	41.3	41.6	41.8	42.05	42.2	42.4	42.55	42.7	42.8	42.9	43	43.15				
63	64.00	63	29.05	33	34.9	37.4	38.9	40.1	40.85	41.3	41.75	42.1	42.3	42.5	42.7	42.8	42.9	43	43.05	43.1	43.2	43.25	43.3	43.35				
64	69.00	64	31.5	35.1	37	39.1	40.5	41.5	42	42.35	42.65	42.8	42.95	43	43.1	43.2	43.3	43.35	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
65	74.00	65	33.5	36.9	38.5	40.5	41.6	42.4	42.8	43	43.1	43.2	43.25	43.3	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
66	79.00	66	34.9	38.2	39.75	41.5	42.5	43	43.2	43.3	43.35	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
67	84.00	67	36.1	39.3	40.65	42.2	43	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
68	89.00	68	37.2	40.05	41.3	42.65	43.2	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
69	94.00	69	37.8	40.5	41.7	42.9	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
70	99.00	70	38.3	40.9	42	43.1	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
71	104.00	71	38.4	41.05	42.1	43.15	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
72	109.00	72	38.65	41.1	42.2	43.2	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
73	114.00	73	38.65	41.1	42.2	43.2	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
74	119.00	74	38.65	41.1	42.2	43.2	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
75	124.00	75	38.65	41.1	42.2	43.2	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
76	129.00	76	38.65	41.1	42.2	43.2	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
77	134.00	77	38.65	41.1	42.2	43.2	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
78	139.00	78	38.65	41.1	42.2	43.2	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
79	144.00	79	38.65	41.1	42.2	43.2	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
80	149.00	80	38.65	41.1	42.2	43.2	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
81	154.00	81	38.65	41.1	42.2	43.2	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
82	159.00	82	38.65	41.1	42.2	43.2	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
83	164.00	83	38.65	41.1	42.2	43.2	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
84	169.00	84	38.65	41.1	42.2	43.2	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
85	174.00	85	38.65	41.1	42.2	43.2	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
86	179.00	86	38.65	41.1	42.2	43.2	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
87	184.00	87	38.65	41.1	42.2	43.2	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
88	189.00	88	38.65	41.1	42.2	43.2	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
89	194.00	89	38.65	41.1	42.2	43.2	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
90	199.00	90	38.65	41.1	42.2	43.2	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4				
91	204.00	91	38.60	41.20	42.25	43.28	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40				
92	209.00	92	38.20	40.90	42.00	43.00	43.30	43.35	43.37	43.39	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40				
93	214.00	93	37.60	40.35	41.35	42.50	43.00	43.05	43.10	43.15	43.20	43.25	43.30	43.35	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40				
94	219.00	94	36.45	39.15	40.30	41.65	42.35	42.70	42.85	42.90	42.95	43.00	43.05	43.10	43.15	43.20	43.25	43.30	43.35	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40				
95	224.00	95	34.70	37.70	38.90	40.50	41.45	42.00	42.25	42.30	42.40	42.50	42.55	42.60	42.65	42.70	42.80	42.90	42.95	43.00	43.10	43.20	43.25	43.30				
96	229.00	96	32.25	35.65	37.20	38.95	40.15	40.90	41.40	41.55	41.65	41.75	41.80	41.90	41.95	42.00	42.10	42.20	42.30	42.40	42.50	42.65	42.85	43.00				
97	234.00	97	29.60	33.20	35.00	37.10	38.50	39.40	40.05	40.40	40.60	40.70	40.80	40.90	41.00	41.10	41.15	41.25	41.40	41.50	41.70	41.95	42.15	42.40				
98	239.00	98	26.00	30.40	32.40	34.80	36.40	37.50	38.25	38.75	39.00	39.15	39.30	39.40	39.50	39.65	39.80	40.00	40.10	40.20	40.45	40.80	41.15	41.50				
99	244.00	99	22.20	27.20	29.20	32.00	33.75	35.00	35.90	36.50	36.88	37.05	37.25	37.45	37.65	37.75	37.95	38.10	38.25	38.45	38.80	39.20	39.60	40.05				
100	249.00	100	18.65	23.40	25.75	28.65	30.55	31.95	32.90	33.60	33.95	34.20	34.45	34.65	34.85	35.05	35.30	35.50	35.75	35.95	36.35	36.85	37.40	37.90				
101	249.80	101	18.50	22.80	25.10	28.05	30.00	31.35	32.40	33.05	33.40	33.65	33.90	34.10	34.35	34.60	34.85	35.05	35.30	35.50	35.90	36.40	36.90	37.50				
102	250.60	102	18.20	22.30	24.50	27.40	29.40	30.80	31.80	32.50	32.90	33.20	33.40	33.60	33.80	34.05	34.30	34.58										

[illegible]

A.3. RAO Tanker 125.000 DWT Kondisi Full Load

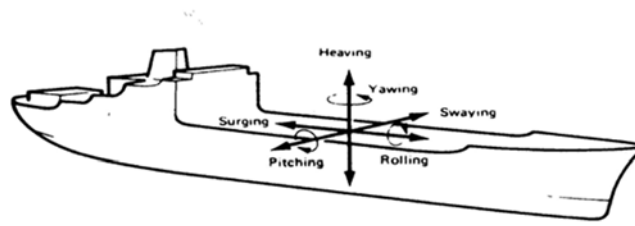
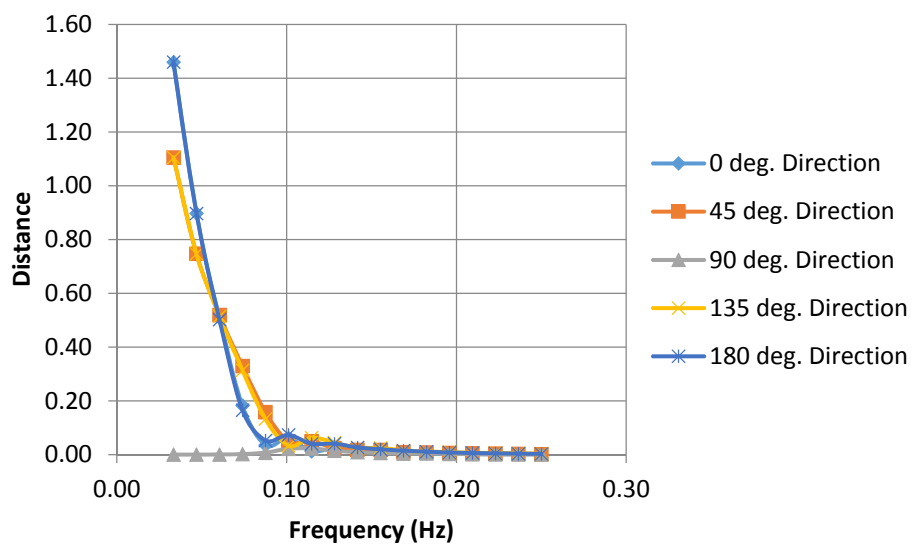
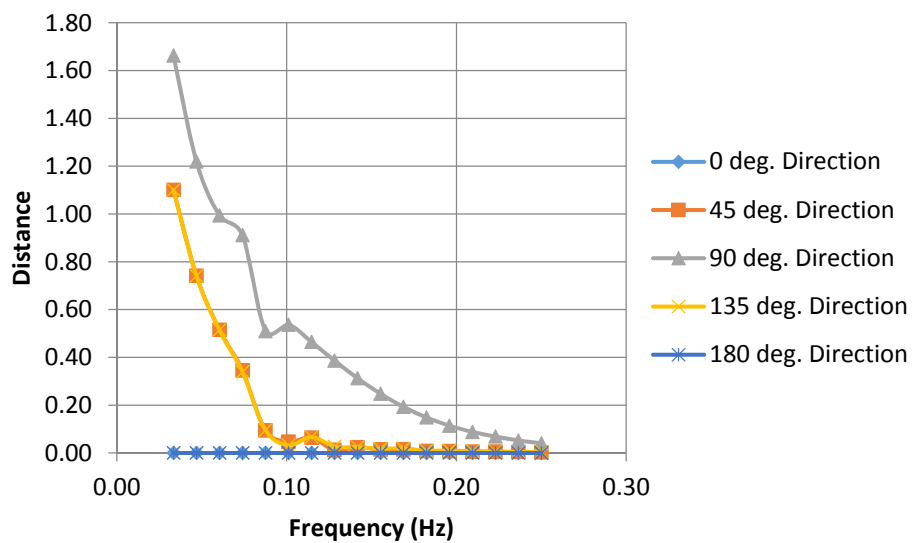


Figure 2.1 Ship movement—the six degrees of freedom

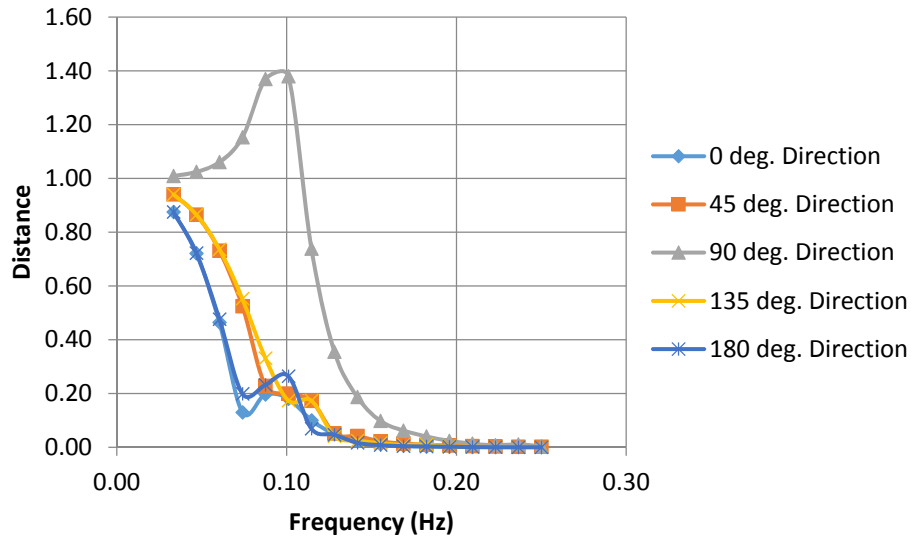
Surge Motion RAO (Response Amplitude Operators)



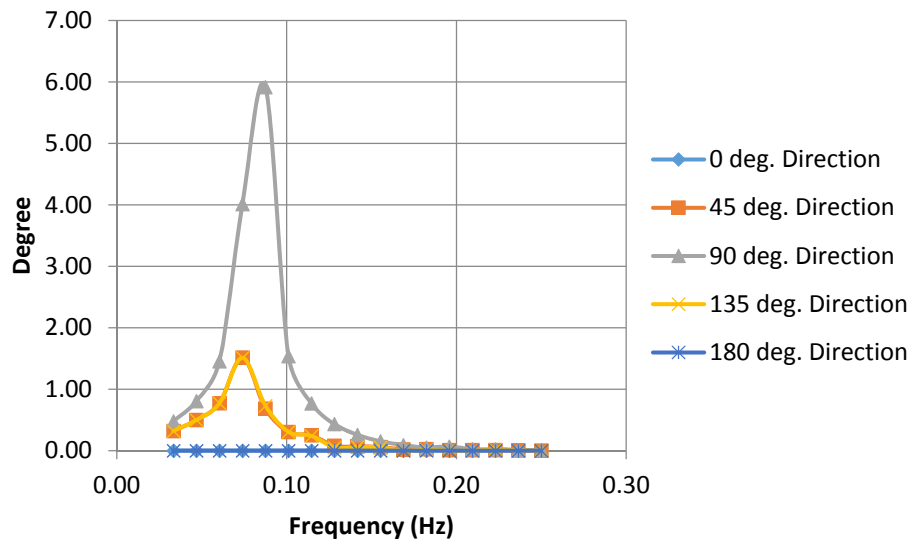
Sway Motion RAO (Response Amplitude Operators)



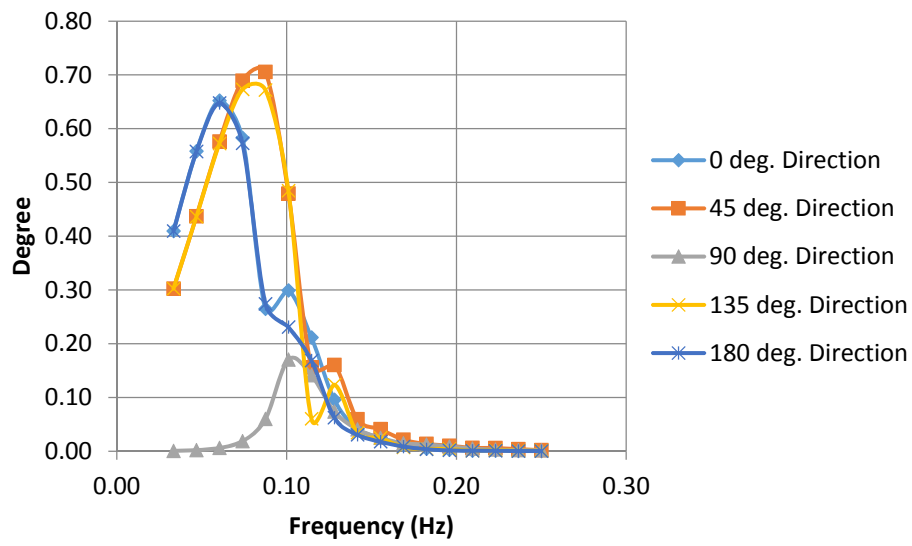
Heave Motion RAO (Response Amplitude Operators)



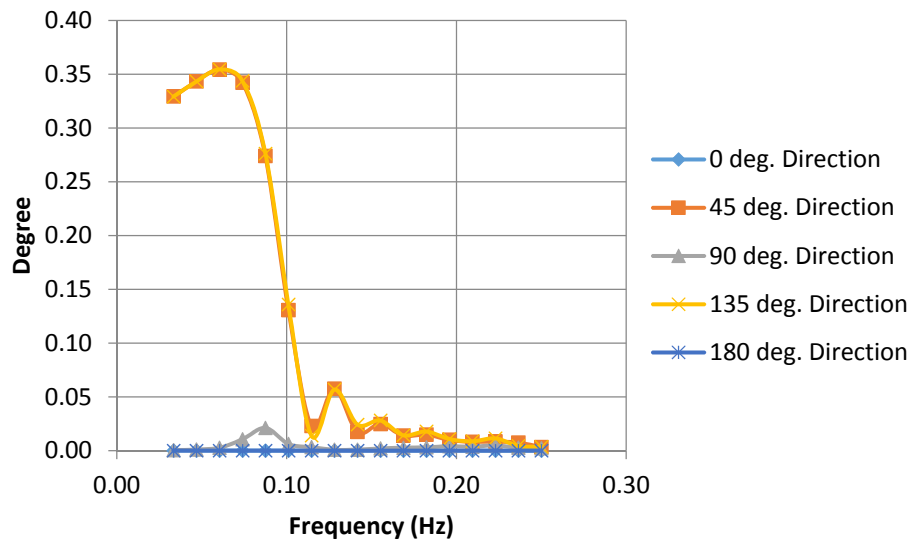
Roll Motion RAO (Response Amplitude Operators)



Pitch Motion RAO (Response Amplitude Operators)



Yaw Motion RAO (Response Amplitude Operators)



A.3. RAO Tanker 125.000 DWT Kondisi Ballast Load

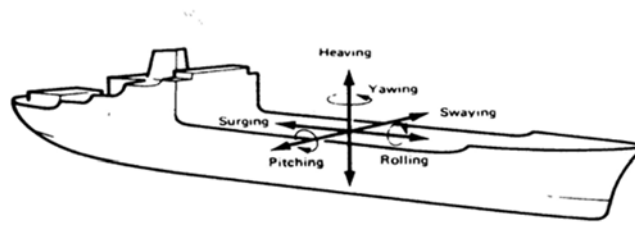
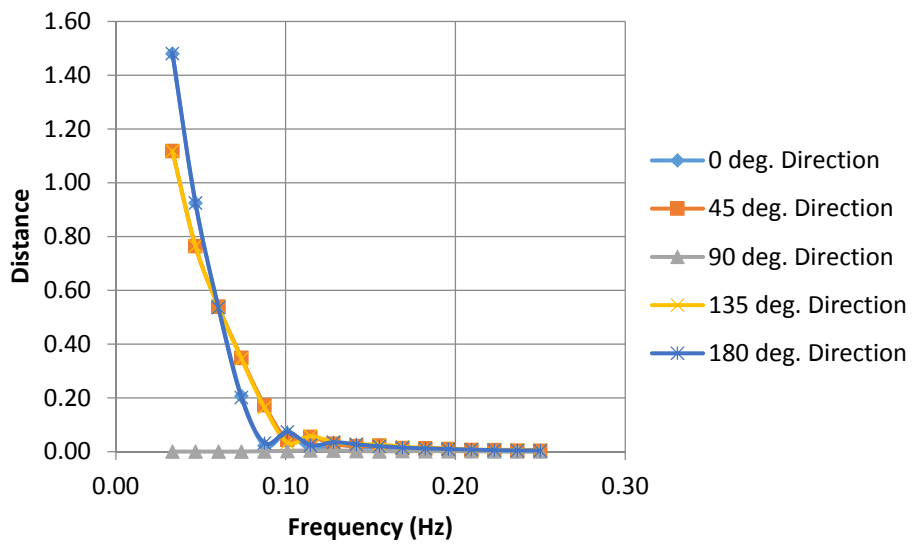
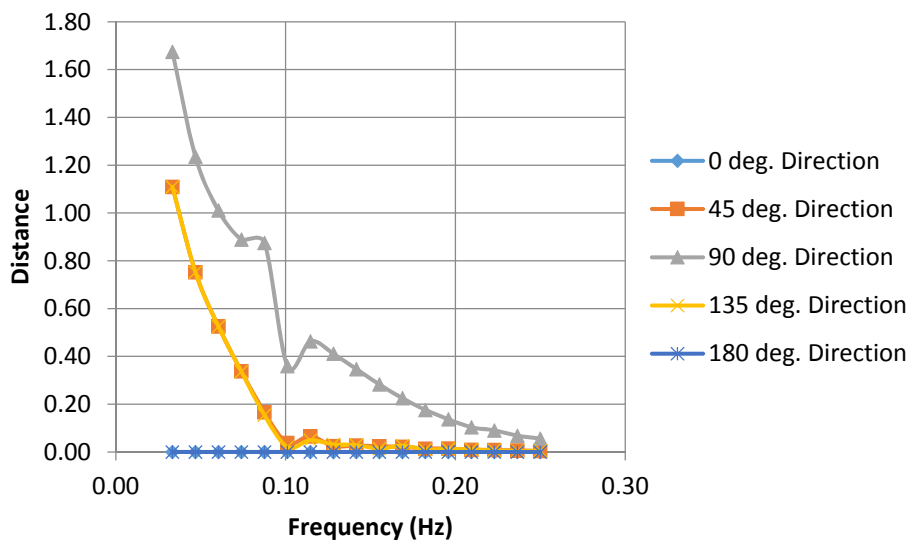


Figure 2.1 Ship movement—the six degrees of freedom

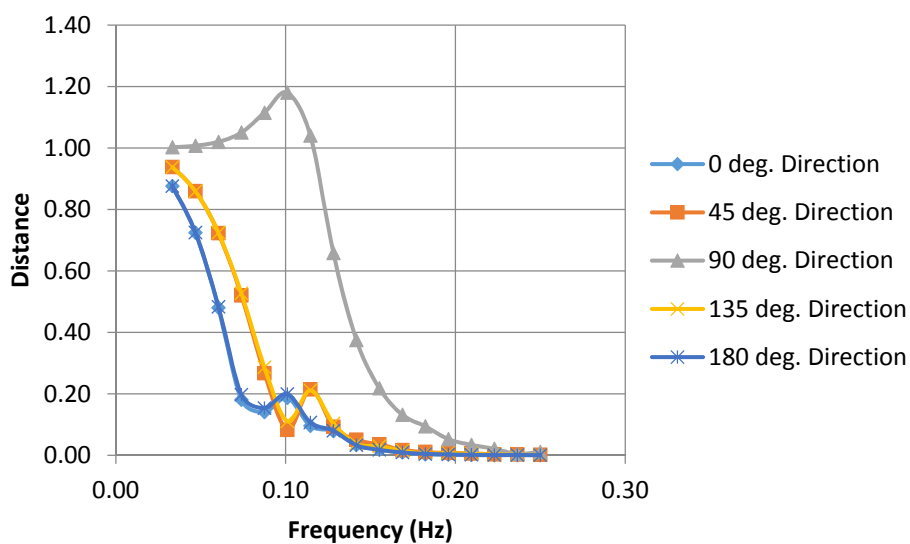
Surge Motion RAO (Response Amplitude Operators)



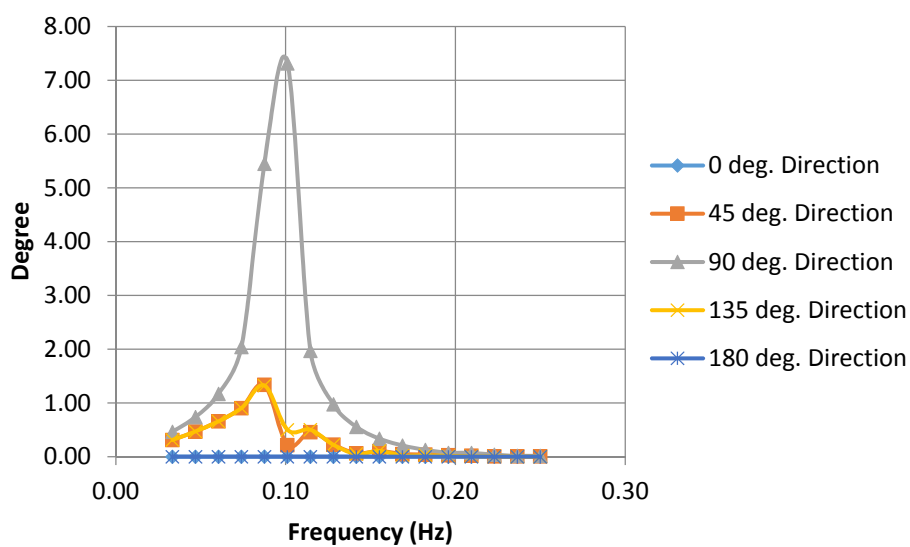
Sway Motion RAO (Response Amplitude Operators)



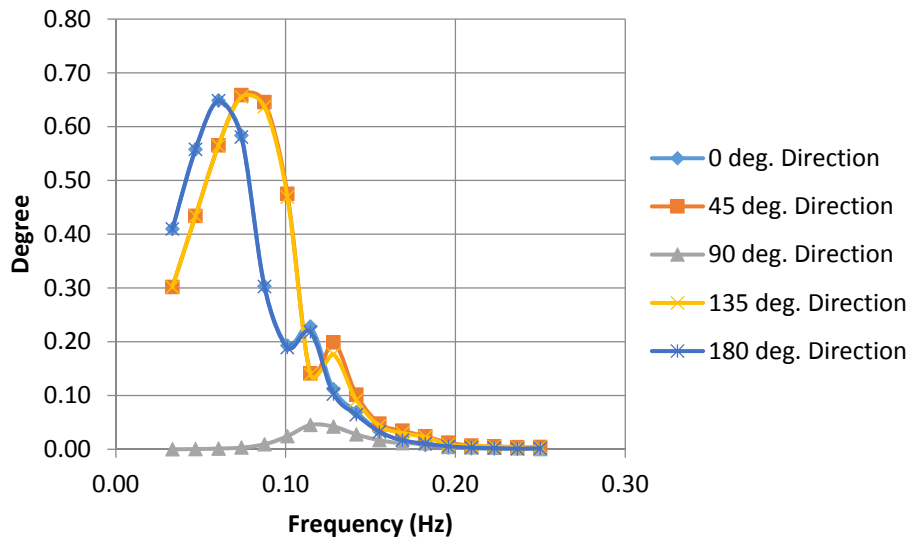
Heave Motion RAO (Response Amplitude Operators)



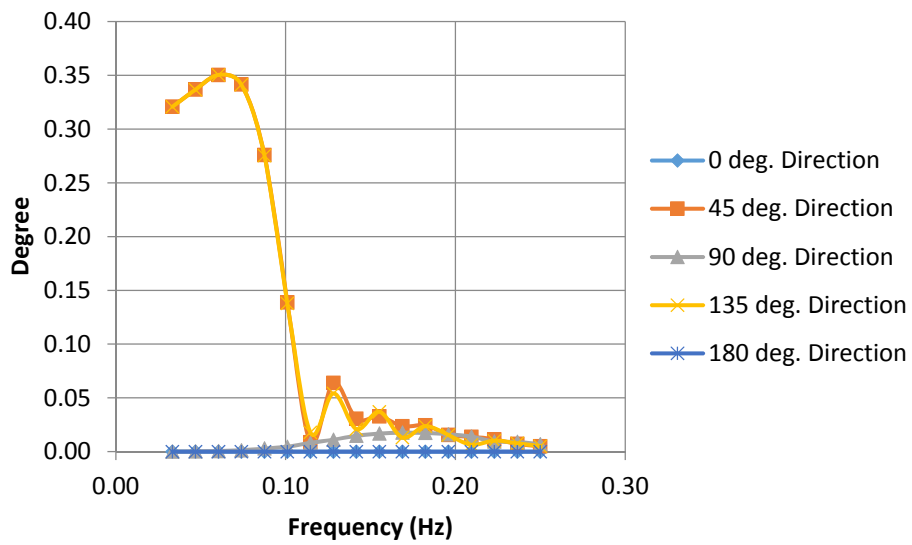
Roll Motion RAO (Response Amplitude Operators)



Pitch Motion RAO (Response Amplitude Operators)

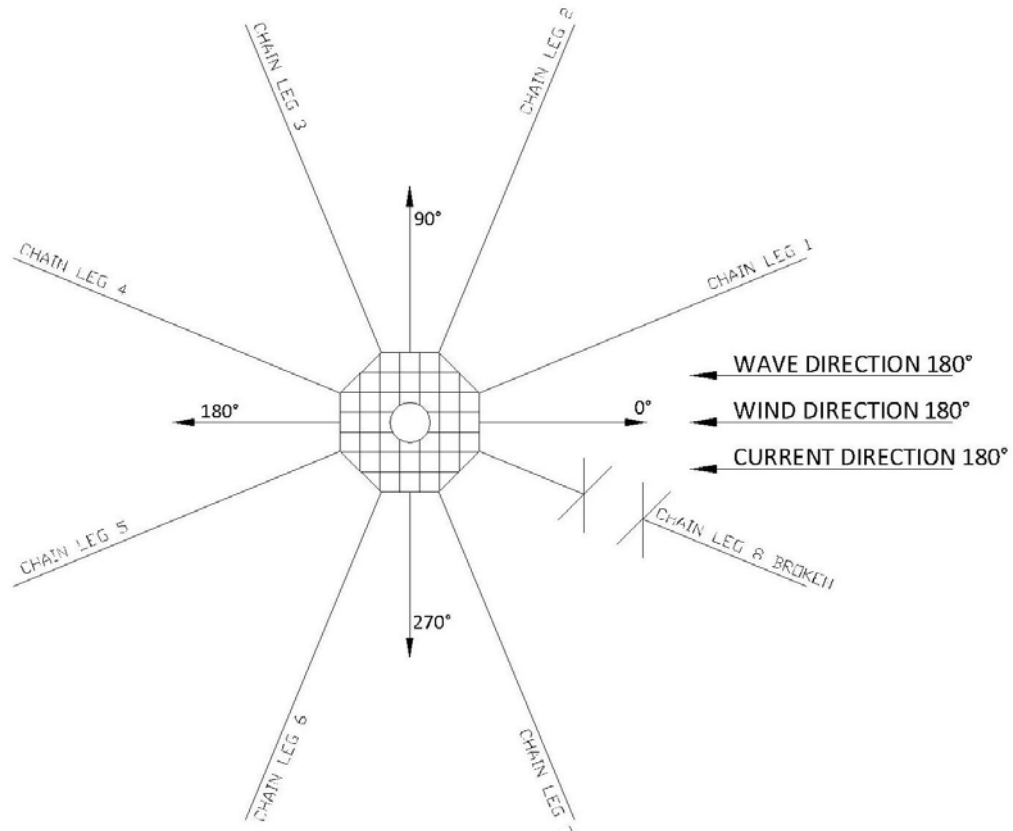


Yaw Motion RAO (Response Amplitude Operators)



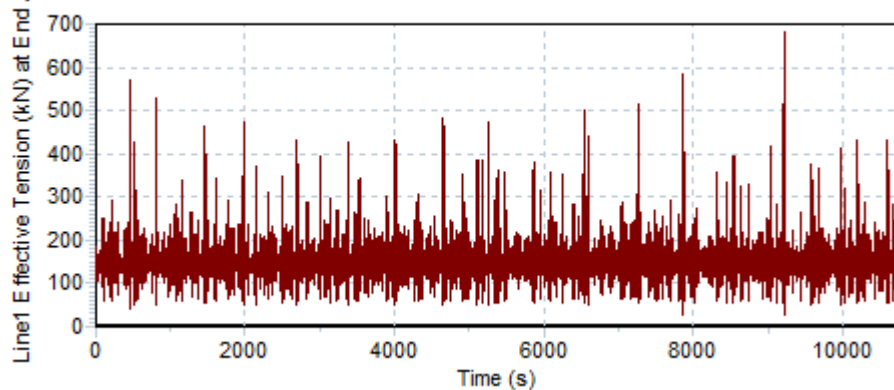
B.1. Lampiran Analisa *Chain Leg Tension* (Time History dari *Chain Tension*)

a. *Chain Leg Tension Time History* pada SPM kondisi badai 1 *Chain leg* Putus (Load case index B.1.)



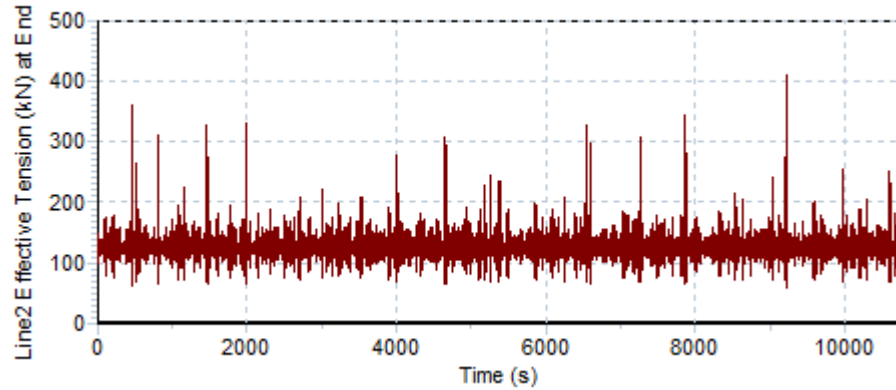
Chain Leg 1

OrcaFlex 8.4a7: OCTA SPM_Damage_180.sim (modified 5:03 AM on 12/29/2015 by OrcaFlex 8.4



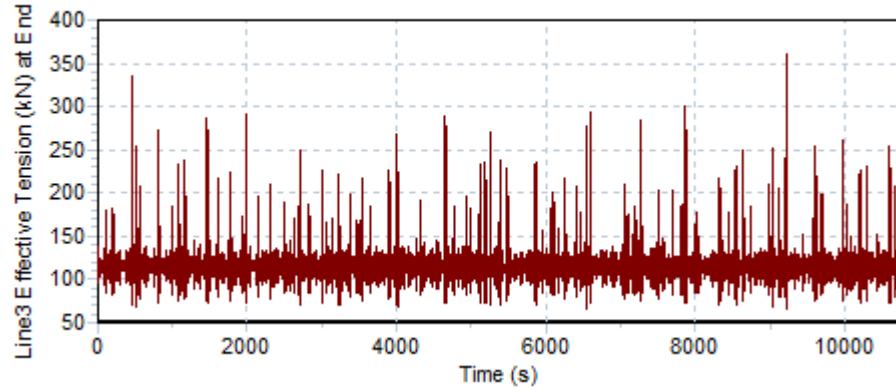
Chain Leg 2

OrcaFlex 8.4a7: OCTA SPM_Damage_180.sim (modified 5:03 AM on 12/29/2015 by OrcaFlex 8.4



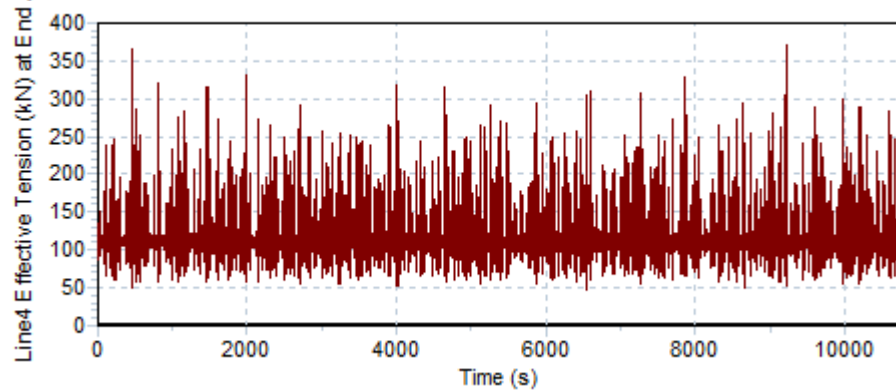
Chain Leg 3

OrcaFlex 8.4a7: OCTA SPM_Damage_180.sim (modified 5:03 AM on 12/29/2015 by OrcaFlex 8.4



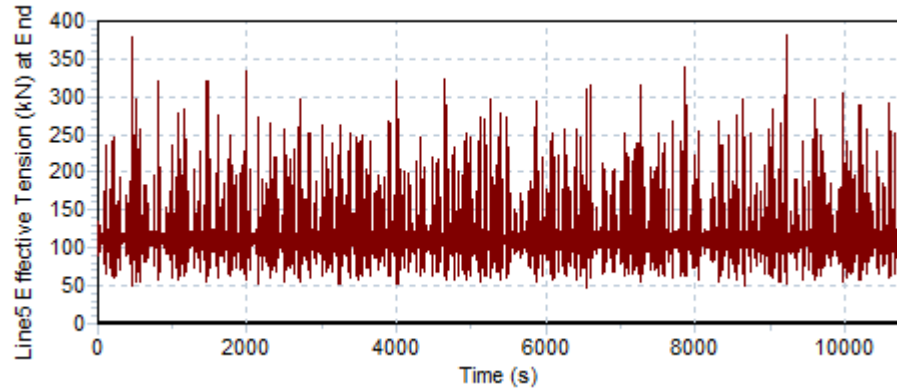
Chain Leg 4

OrcaFlex 8.4a7: OCTA SPM_Damage_180.sim (modified 5:03 AM on 12/29/2015 by OrcaFlex 8.4



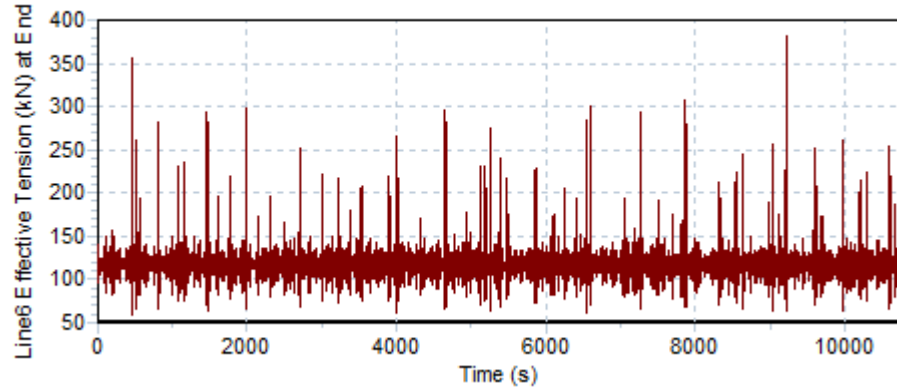
Chain Leg 5

OrcaFlex 8.4a7: OCTA SPM_Damage_180.sim (modified 5:03 AM on 12/29/2015 by OrcaFlex 8.4



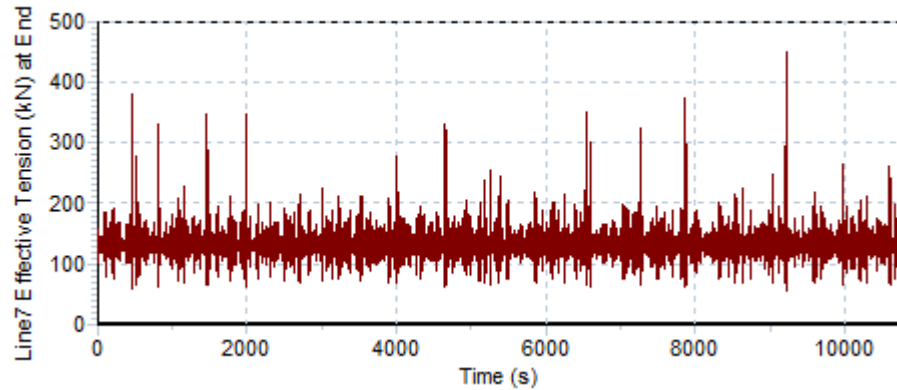
Chain Leg 6

OrcaFlex 8.4a7: OCTA SPM_Damage_180.sim (modified 5:03 AM on 12/29/2015 by OrcaFlex 8.4

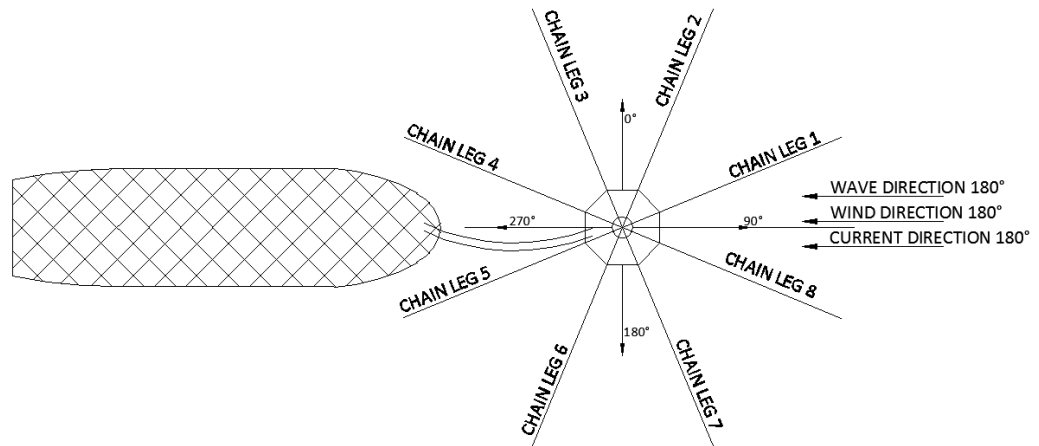


Chain Leg 7

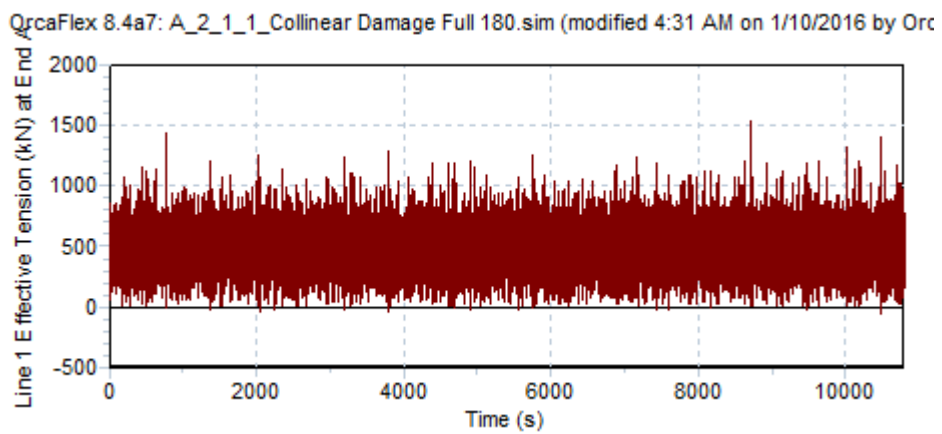
OrcaFlex 8.4a7: OCTA SPM_Damage_180.sim (modified 5:03 AM on 12/29/2015 by OrcaFlex 8.4



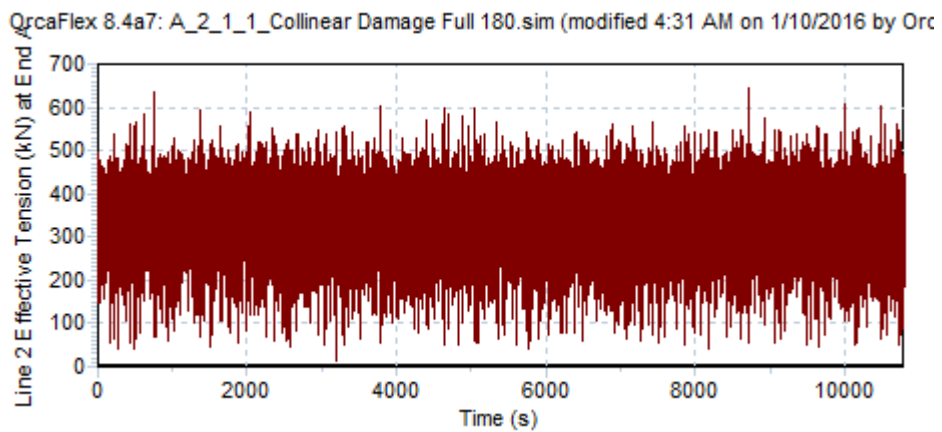
b. Chain Leg Tension Time History pada SPM kondisi operasional Chain leg 1 Putus (Load case index A.2.1.1.)



Chain Leg 1

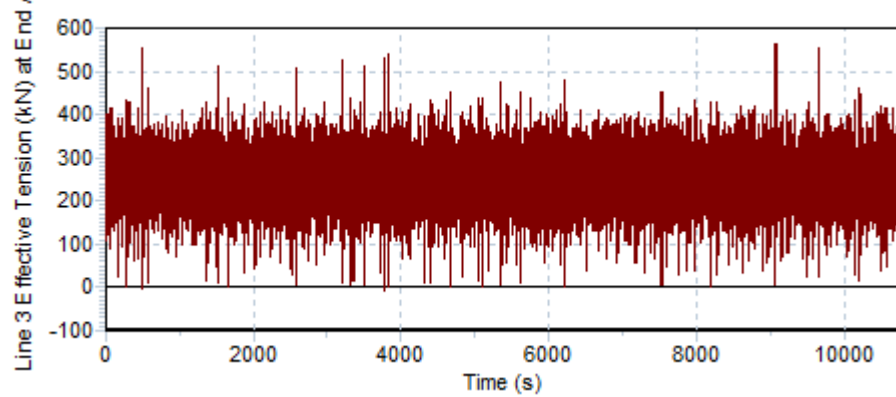


Chain Leg 2



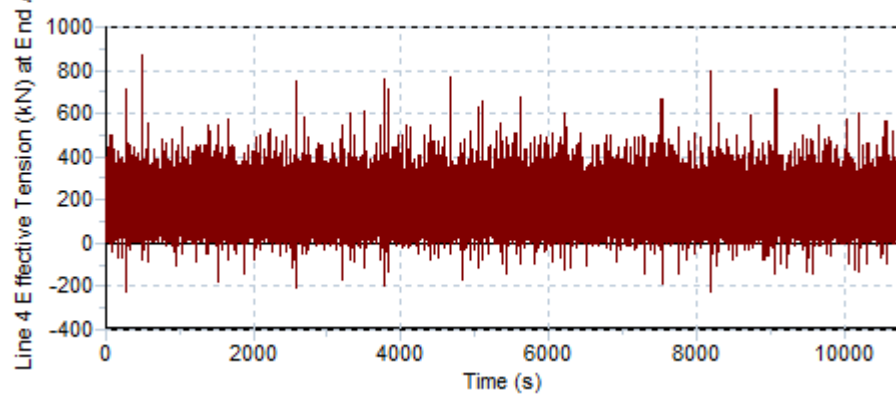
Chain Leg 3

OrcaFlex 8.4a7: A_2_1_1_Collinear Damage Full 180.sim (modified 4:31 AM on 1/10/2016 by Orc



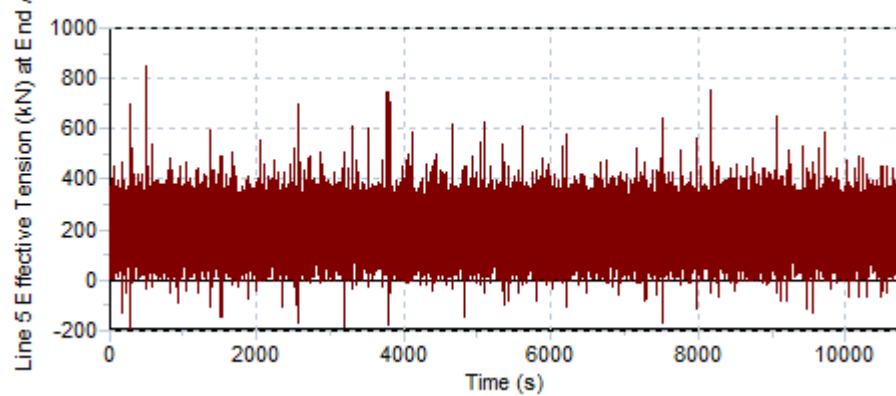
Chain Leg 4

OrcaFlex 8.4a7: A_2_1_1_Collinear Damage Full 180.sim (modified 4:31 AM on 1/10/2016 by Orc



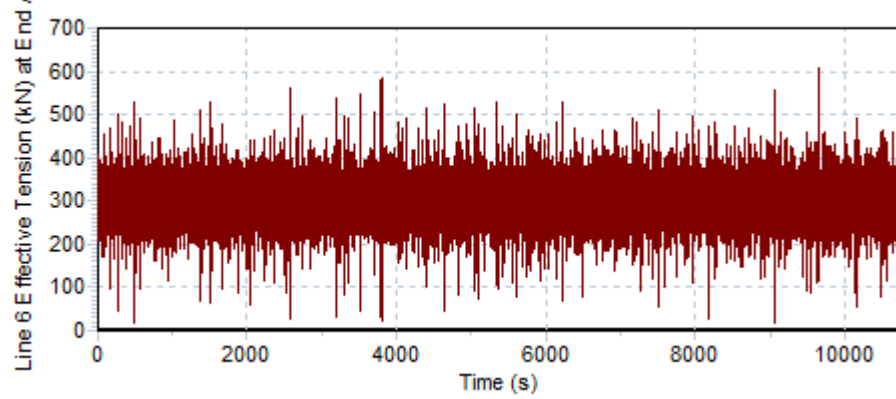
Chain Leg 5

OrcaFlex 8.4a7: A_2_1_1_Collinear Damage Full 180.sim (modified 4:31 AM on 1/10/2016 by Orc



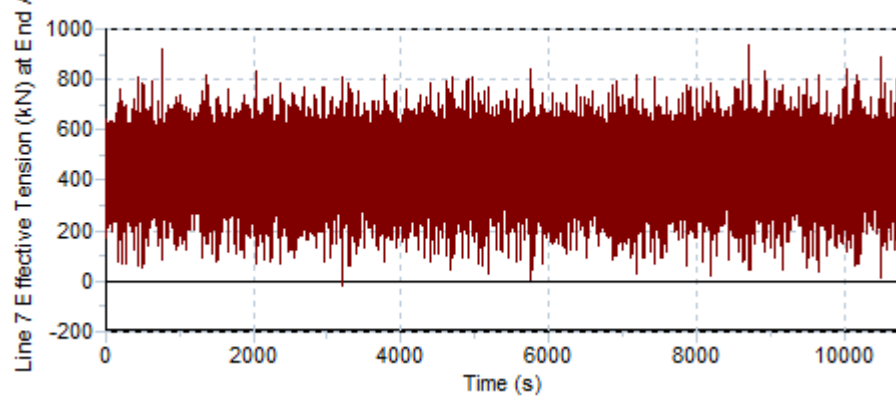
Chain Leg 6

OrcaFlex 8.4a7: A_2_1_1_Collinear Damage Full 180.sim (modified 4:31 AM on 1/10/2016 by Orc



Chain Leg 7

OrcaFlex 8.4a7: A_2_1_1_Collinear Damage Full 180.sim (modified 4:31 AM on 1/10/2016 by Orc



C.1. Distribusi Tegangan Pada Konstruksi SPM

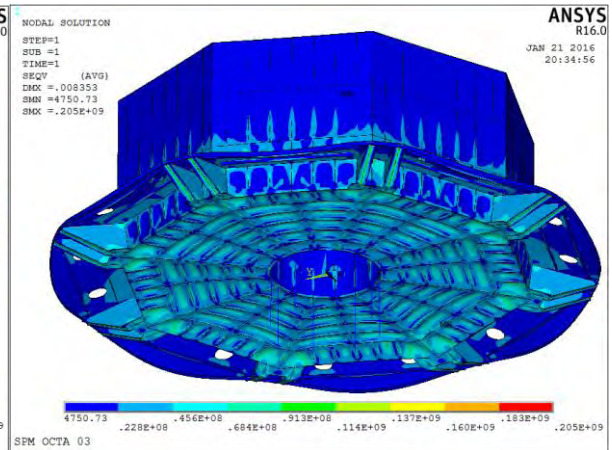
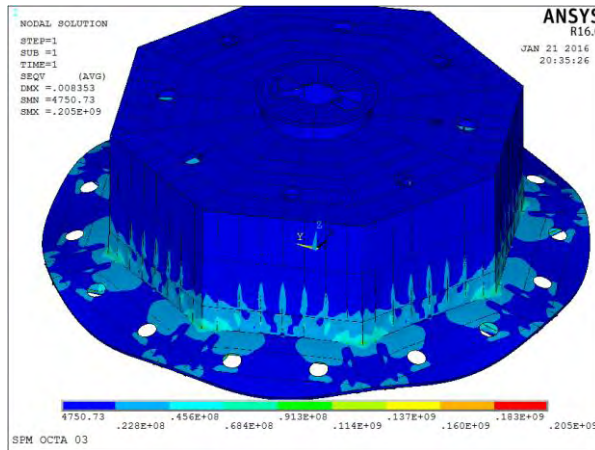
Keterangan:

(a) = Von Mises Stress

(b) = Shear Stress XY

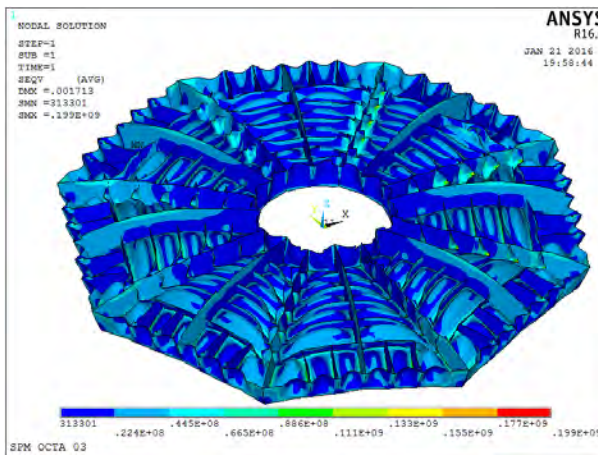
(c) = Shear Stress YZ

(d) = Shear Stress XZ

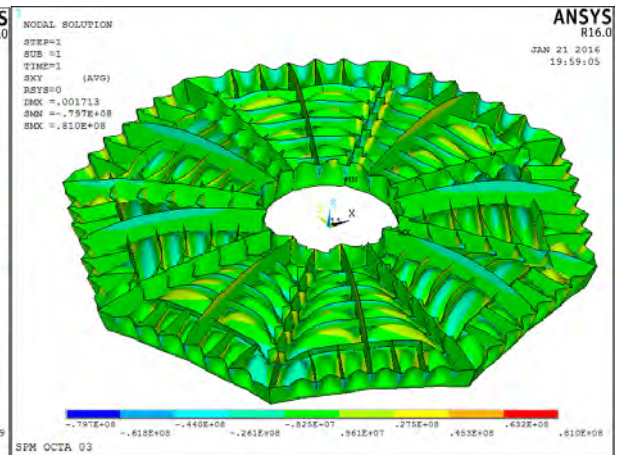


(a) Max = 205 MPa

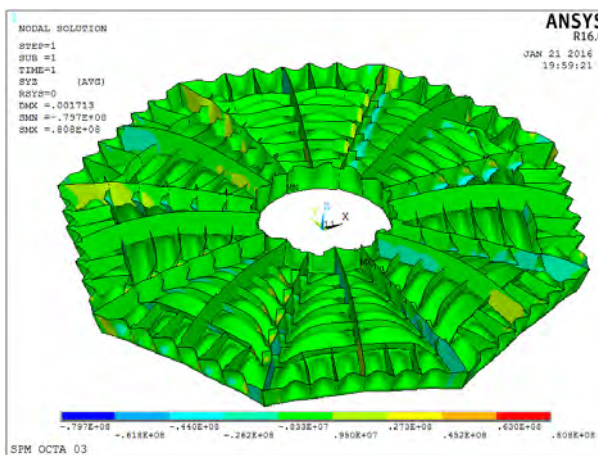
I. Konstruksi alas



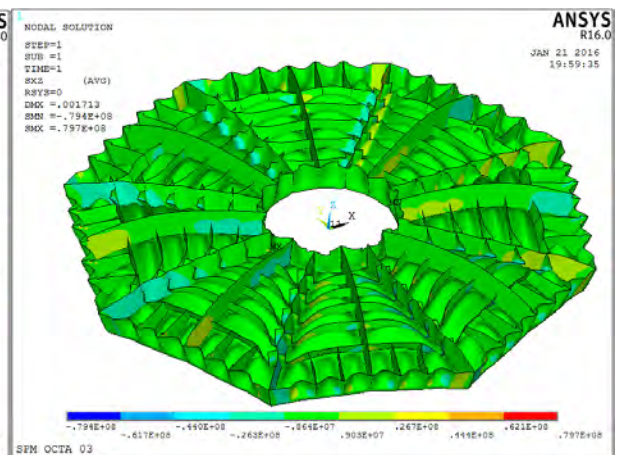
(a) Max = 199 MPa



(b) Max = 81 MPa

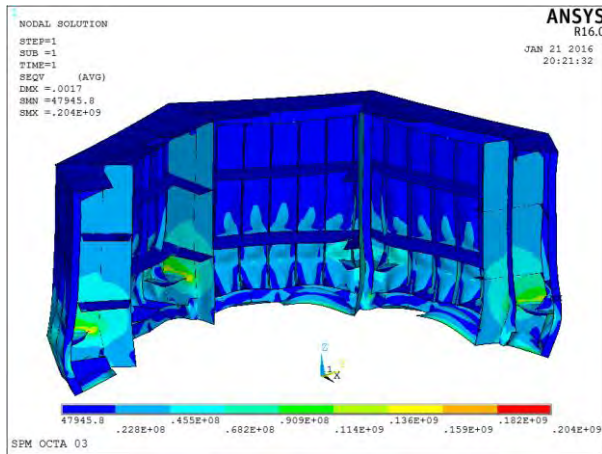


(c) Max = 80.8 MPa

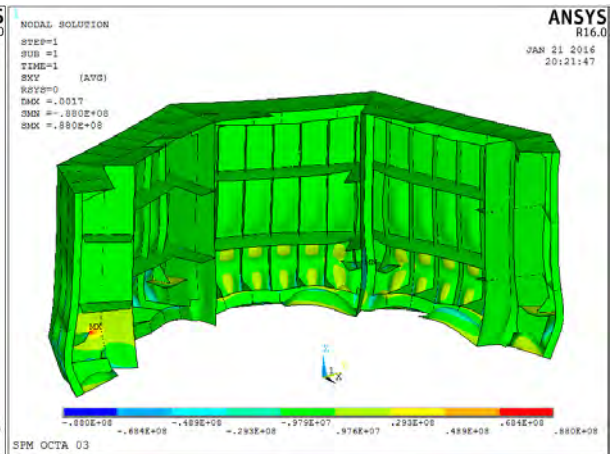


(d) Max = 79.7 MPa

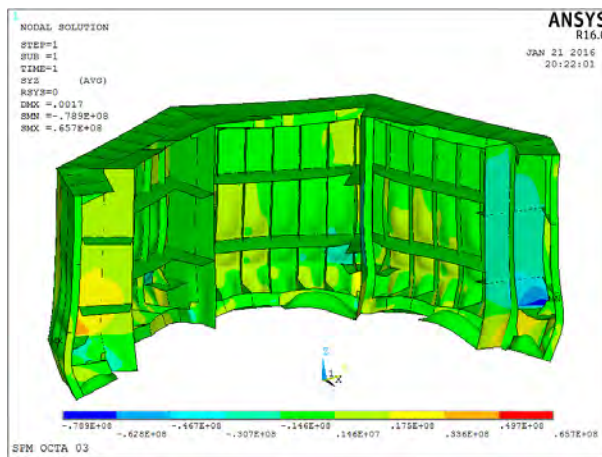
II. Kostruksi sisi



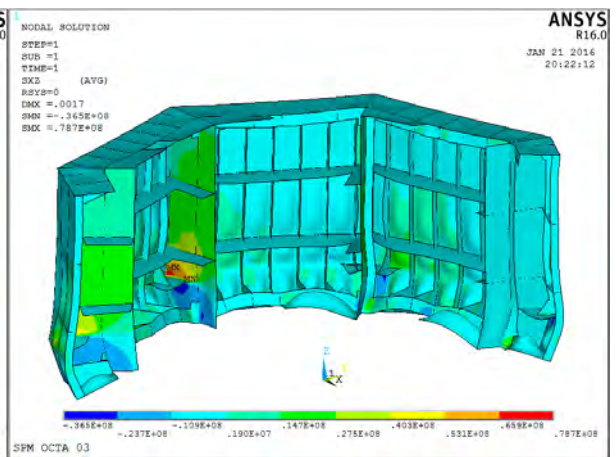
(a) Max = 204 MPa



(b) Max = 88 MPa

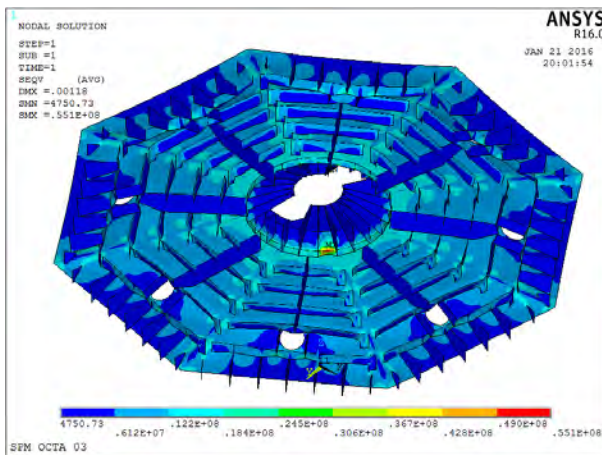


(c) Max = 39 MPa

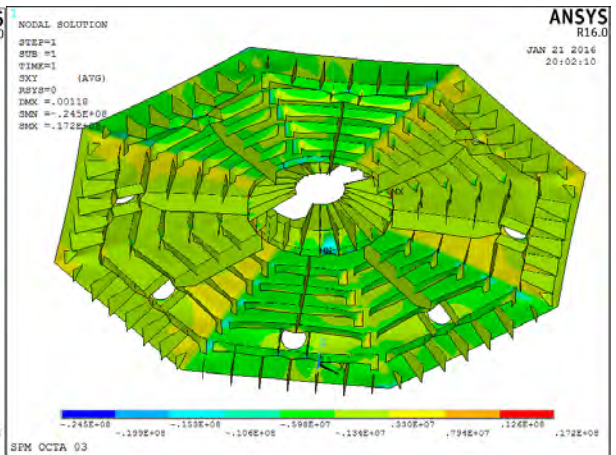


(d) Max = 38.7 MPa

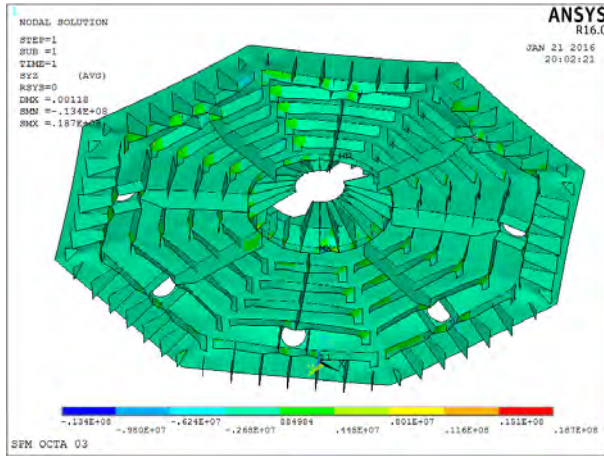
III. Konstruksi geladak



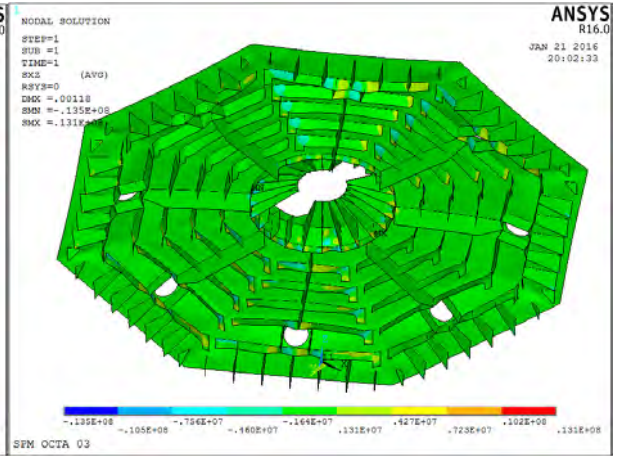
(a) Max = 55.1 MPa



(b) Max = 17.2 MPa

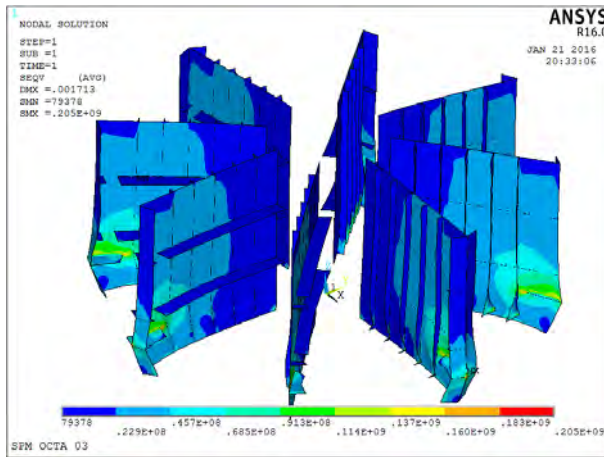


(c) Max = 18.7 MPa

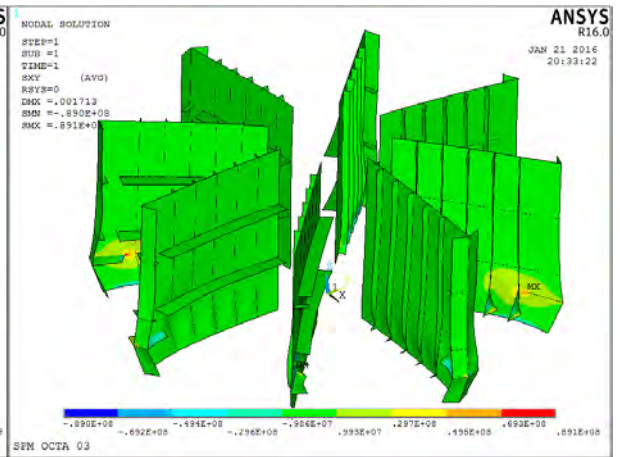


(d) Max = 13.1 MPa

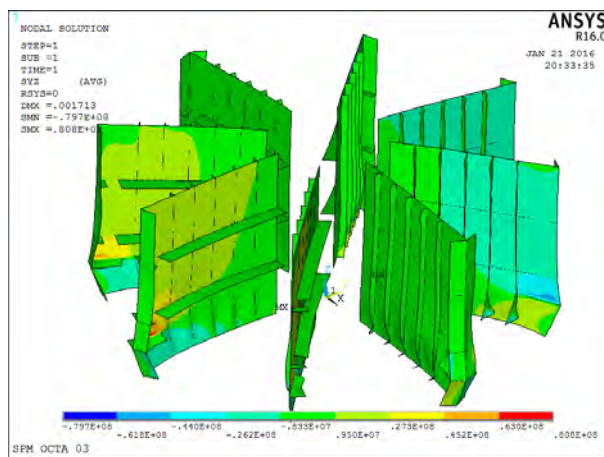
IV. Konstruksi sekat



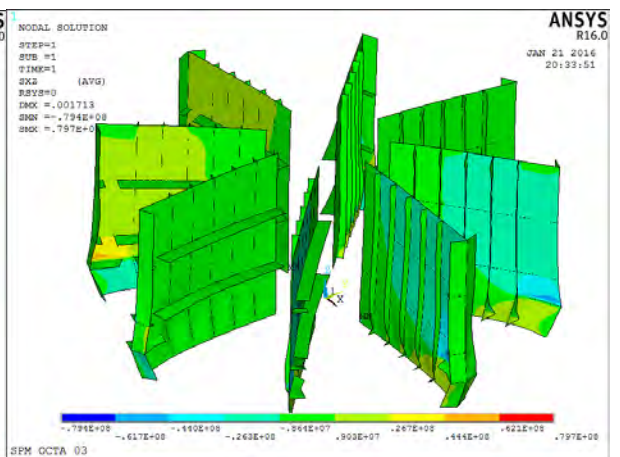
(a) Max = 205 MPa



(b) Max = 89.1 MPa

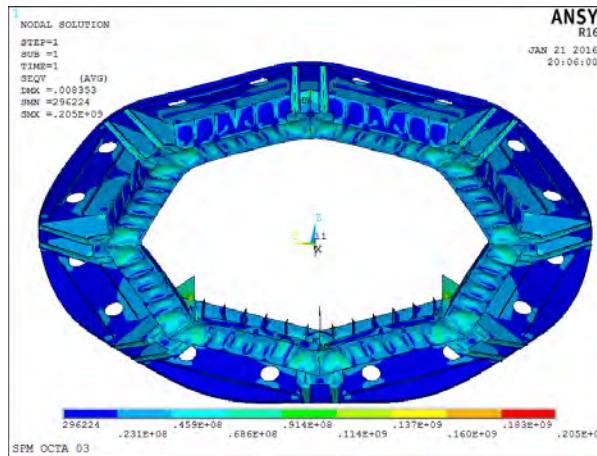


(c) Max = 80.8 MPa

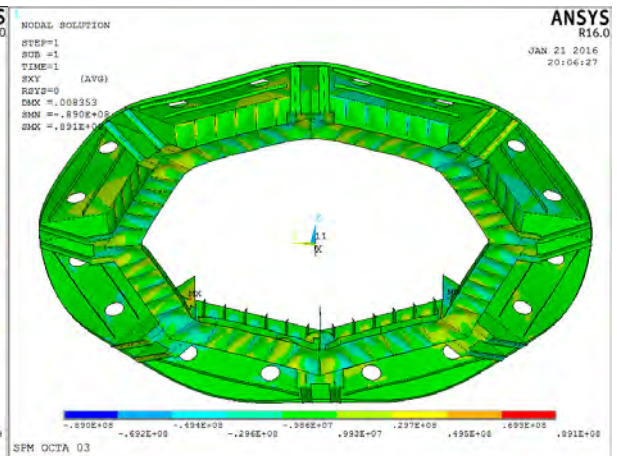


(d) Max = 79.7 MPa

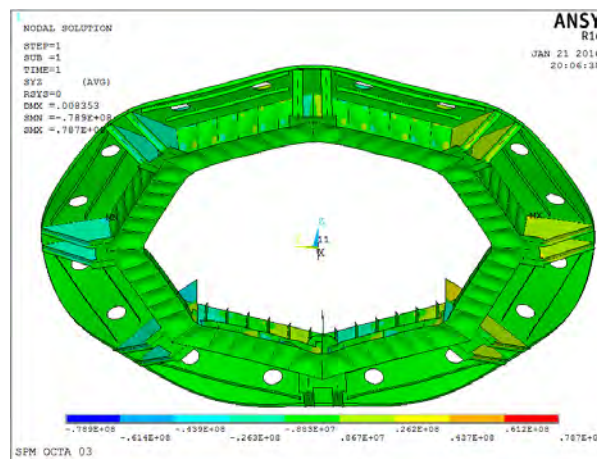
V. Konstruksi *chain stopper*



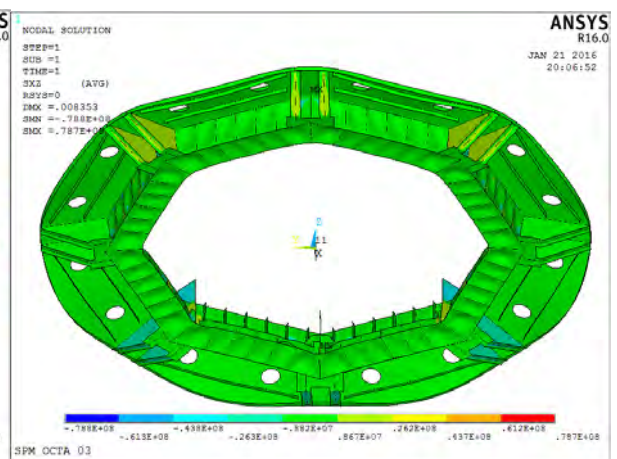
(a) Max = 205 MPa



(b) Max = 89.1 MPa

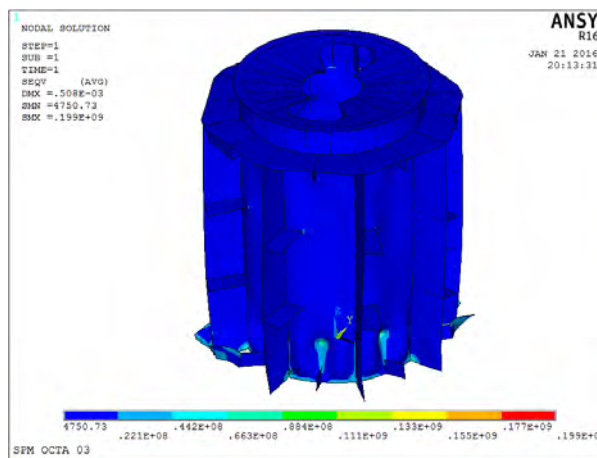


(c) Max = 78.7 MPa

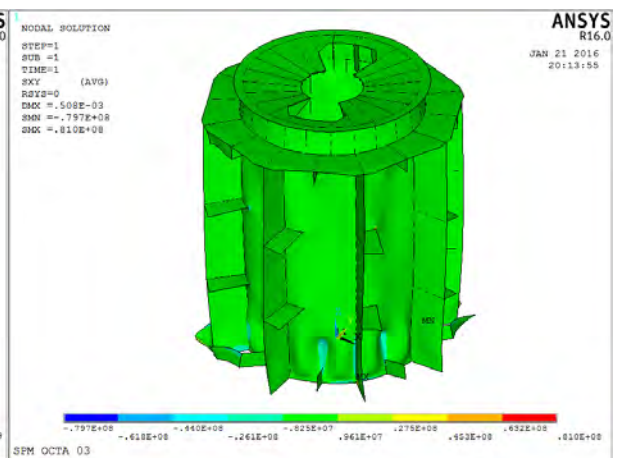


(d) Max = 78.7 MPa

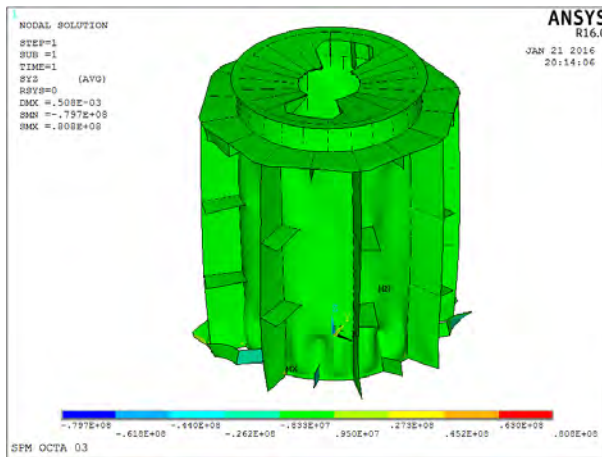
VI. Center well



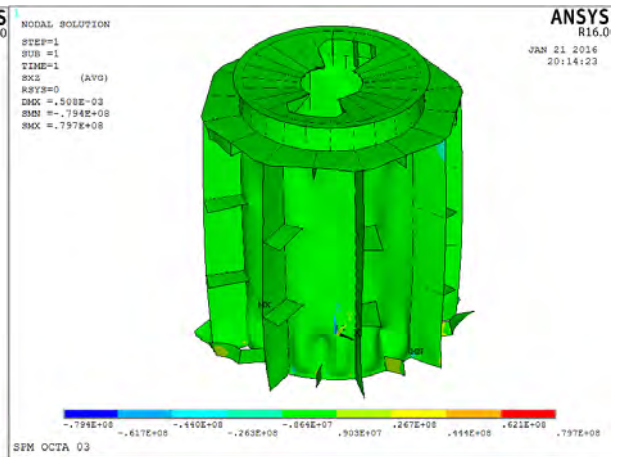
(a) Max = 199 MPa



(b) Max = 81 MPa

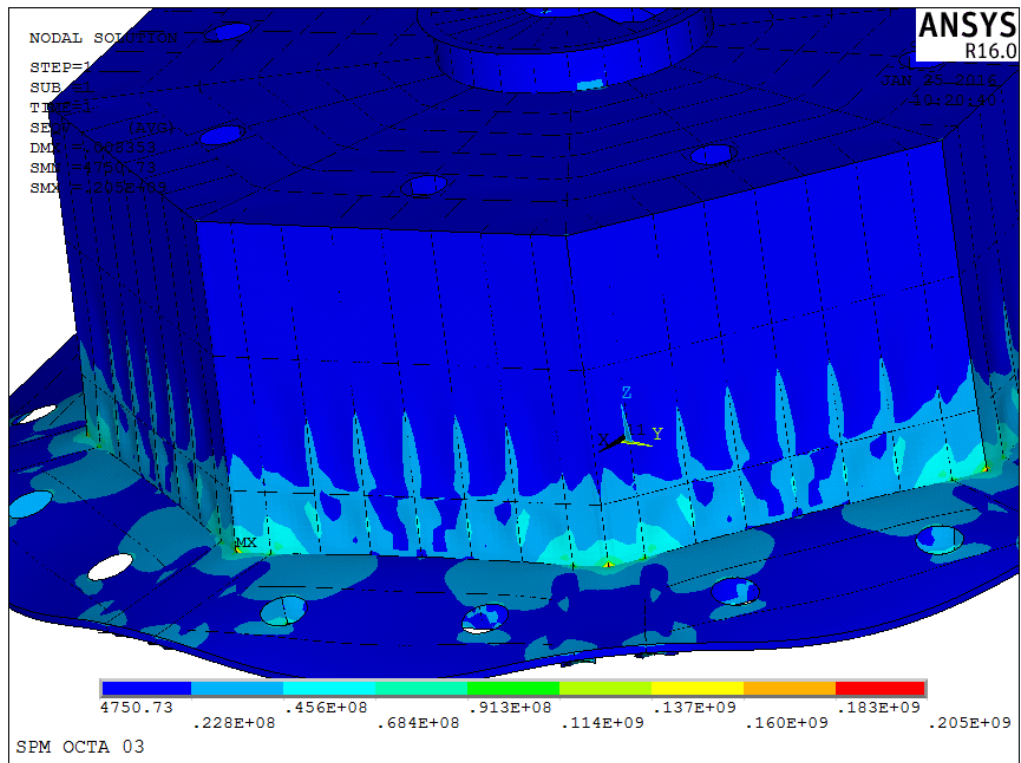


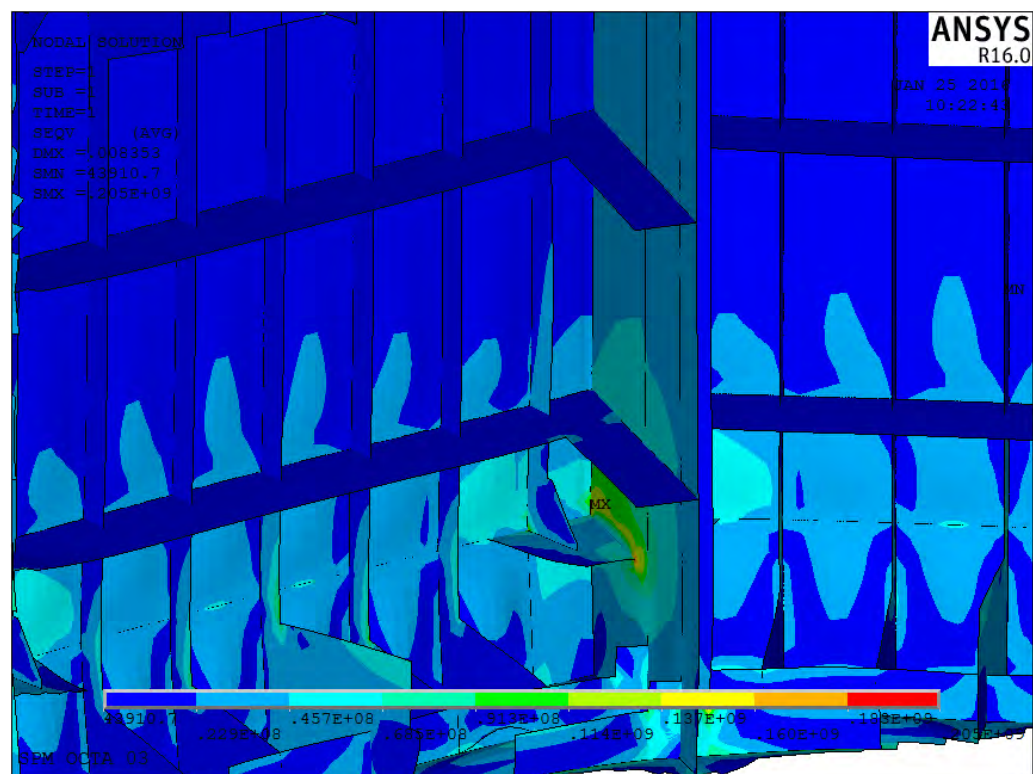
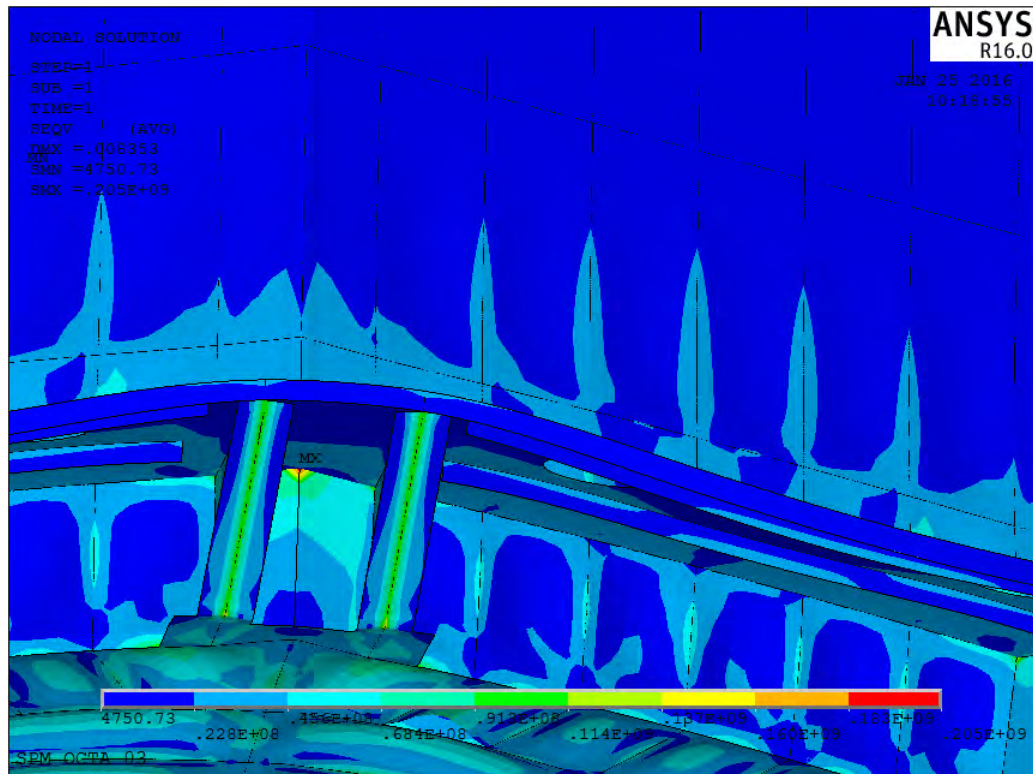
(c) Max = 80.8 MPa



(d) Max = 79.7 MPa

VII. Detail Titik *Stress* Maksimum





D.1. Analisa stabilitas utuh (*Intact Stability*)

a. Equilibrium Calculation - SPM OCTA 03

Loadcase - 1 Intact Condition

Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1.025; (Density = 1.025 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Qty.	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)
Hull & Skirt Elemen	1	207.429	207.429	0.000	0.000	2.420
Deck House	1	3.881	3.881	0.000	0.000	8.990
Platform & Pipe	1	67.364	67.364	0.260	-0.220	6.090
Railing	1	0.373	0.373	0.000	1.280	9.940
Pretension Chain 1	1	13.060	13.060	5.900	-2.400	0.500
Pretension Chain 2	1	12.870	12.870	2.400	-5.900	0.500
Pretension Chain 3	1	12.440	12.440	-2.400	-5.900	0.500
Pretension Chain 4	1	12.210	12.210	-5.900	-2.400	0.500
Pretension Chain 5	1	12.210	12.210	-5.900	2.400	0.500
Pretension Chain 6	1	12.440	12.440	-2.400	5.900	0.500
Pretension Chain 7	1	12.870	12.870	2.400	-5.900	0.500
Pretension Chain 8	1	13.060	13.060	5.900	2.400	0.500
Pretension Hawser 1	1	5.900	5.900	0.000	1.000	5.500
Pretension Hawser 2	1	5.880	5.880	0.000	1.000	5.500
Riser Pretension	2	3.680	7.360	0.000	0.000	0.000
Total Loadcase			399.346	0.074	-0.387	2.670
FS correction						0.000
VCG fluid						2.670

Draft Amidships m	3.278
Displacement t	399.3
Heel deg	-9.0
Draft at FP m	3.468
Draft at AP m	3.087
Draft at LCF m	3.278
Trim (+ve by stern) m	-0.380
WL Length m	12.533
Beam max extents on WL m	12.684
Wetted Area m ²	257.593
Waterpl. Area m ²	121.153
Prismatic coeff. (Cp)	0.744
Block coeff. (Cb)	0.573
Max Sect. area coeff. (Cm)	0.771
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.762
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	0.104
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	0.000
KB m	1.693
KG fluid m	2.670
BMt m	3.544
BML m	3.460
GMt corrected m	2.555
GML m	2.471
KMt m	5.192
KML m	5.109
Immersion (TPc) tonne/cm	1.242
MTc tonne.m	0.788
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	17.809
Max deck inclination deg	9.1843
Trim angle (+ve by stern) deg	-1.7395

Key point	Type	Freeboard m
Margin Line (freeboard pos = 2.55 m)		1.08
Deck Edge (freeboard pos = 2.55 m)		1.155

b. Stability Calculation - SPM OCTA 03

Loadcase - 1 Intact Condition

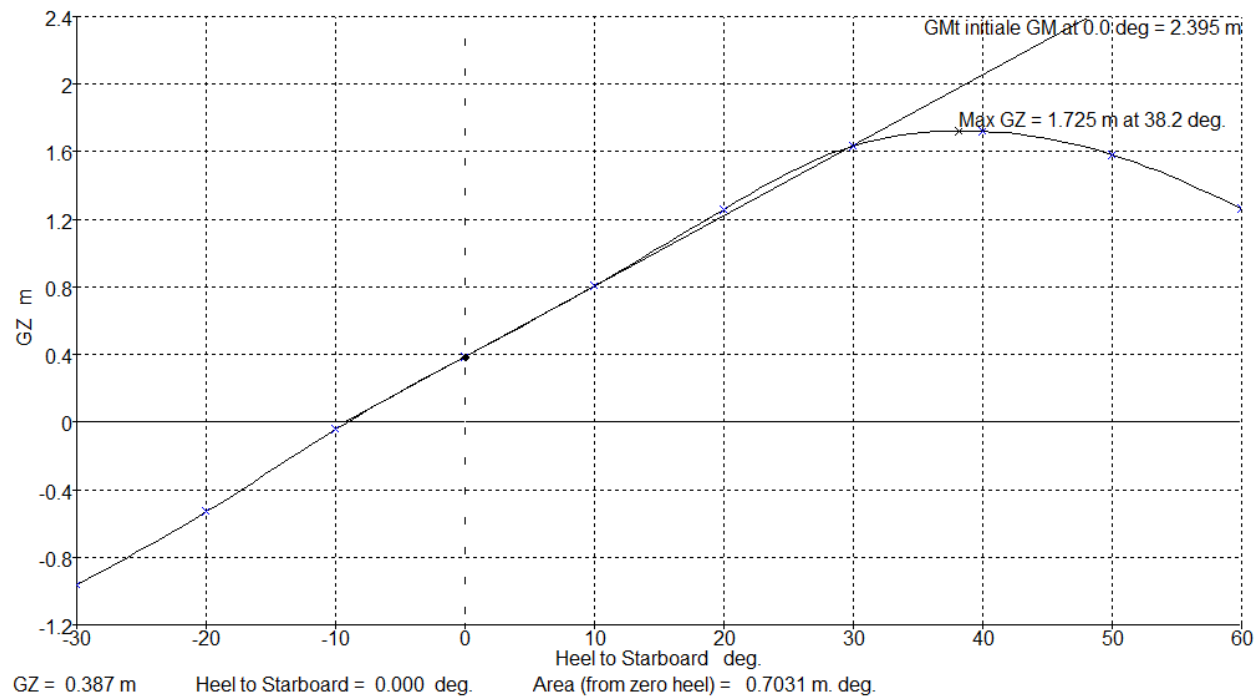
Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1.025; (Density = 1.025 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Qty.	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)
Hull & Skirt Elemen	1	207.429	207.429	0.000	0.000	2.420
Deck House	1	3.881	3.881	0.000	0.000	8.990
Platform & Pipe	1	67.364	67.364	0.260	-0.220	6.090
Railing	1	0.373	0.373	0.000	1.280	9.940
Pretension Chain 1	1	13.060	13.060	5.900	-2.400	0.500
Pretension Chain 2	1	12.870	12.870	2.400	-5.900	0.500
Pretension Chain 3	1	12.440	12.440	-2.400	-5.900	0.500
Pretension Chain 4	1	12.210	12.210	-5.900	-2.400	0.500
Pretension Chain 5	1	12.210	12.210	-5.900	2.400	0.500
Pretension Chain 6	1	12.440	12.440	-2.400	5.900	0.500
Pretension Chain 7	1	12.870	12.870	2.400	-5.900	0.500
Pretension Chain 8	1	13.060	13.060	5.900	2.400	0.500
Pretension Hawser 1	1	5.900	5.900	0.000	1.000	5.500
Pretension Hawser 2	1	5.880	5.880	0.000	1.000	5.500
Riser Pretension	2	3.680	7.360	0.000	0.000	0.000
Total Loadcase			399.346	0.074	-0.387	2.670
FS correction						0.000
VCG fluid						2.670



Heel to Starboard deg	-30.0	-20.0	-10.0	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0
GZ m	-0.966	-0.532	-0.044	0.387	0.806	1.259	1.635	1.721	1.584	1.262
Area under GZ curve from zero heel m.rad	0.1510	0.0195	-0.0308	0.0123	0.1036	0.2836	0.5392	0.8362	1.1276	1.3777
Displacement t	399.3	399.3	399.4	399.4	399.3	399.3	399.3	399.3	399.3	399.4
Draft at FP m	3.588	3.468	3.468	3.471	3.478	3.488	3.630	4.010	4.865	8.593
Draft at AP m	3.151	3.087	3.088	3.084	3.077	3.067	3.109	3.153	2.979	0.560
WL Length m	12.533	12.532	12.533	12.533	12.533	12.533	12.535	12.544	12.585	13.155
Beam max extents on WL m	11.680	13.331	12.720	12.527	12.720	13.331	11.681	9.444	8.157	7.250
Wetted Area m^2	266.773	257.907	257.599	257.602	257.601	257.919	266.796	271.547	276.061	276.842

Waterpl. Area m ²	114.820	126.747	121.499	119.658	121.505	126.727	114.772	93.347	76.307	62.321
Prismatic coeff. (Cp)	0.758	0.744	0.744	0.744	0.743	0.743	0.755	0.759	0.745	0.653
Block coeff. (Cb)	0.436	0.442	0.559	0.719	0.559	0.442	0.435	0.478	0.505	0.504
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	0.110	0.104	0.104	0.106	0.110	0.115	0.130	0.171	0.281	0.805
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-0.046	-0.008	0.000	0.000	0.000	-0.009	-0.055	-0.122	-0.154	-0.499
Max deck inclination deg	30.0453	20.0641	10.1438	1.7702	10.1606	20.0783	30.0643	40.0935	50.2230	61.5671
Trim angle (+ve by stern) deg	-2.0006	-1.7407	-1.7373	-1.7702	-1.8367	-1.9248	-2.3833	-3.9140	-8.5590	-32.6678

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = 2.55 m)		18.4	n/a
Deck Edge (immersion pos = 2.55 m)		19	n/a

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SPM	GMt iniziale	0.000	m	2.395	Pass	infinite

D.2 Analisa stabilitas bocor (*Damage Stability*)

a. Equilibrium Calculation - SPM OCTA 03

Loadcase - 2 Damage Condition

Damage Case – D. Case 1

Free to Trim

Specific gravity = 1.025; (Density = 1.025 tonne/m³)

Compartments Damaged -

Compartment or Tank Status Perm.% PartFlood.% PartFlood.WL

Tank 1 Fully flooded 95

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Qty.	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volume (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM Type
Hull & Skirt Elemen	1	207.429	207.429			0.000	0.000	2.420	0.000	Maximum
Deck House	1	3.881	3.881			0.000	0.000	8.990	0.000	Maximum
Platform & Pipe	1	67.364	67.364			0.260	-0.220	6.090	0.000	Maximum
Railing	1	0.373	0.373			0.000	1.280	9.940	0.000	Maximum
Pretension Chain 1	1	13.060	13.060			5.900	-2.400	0.500	0.000	User Specified
Pretension Chain 2	1	12.870	12.870			2.400	-5.900	0.500	0.000	User Specified
Pretension Chain 3	1	12.440	12.440			-2.400	-5.900	0.500	0.000	User Specified
Pretension Chain 4	1	12.210	12.210			-5.900	-2.400	0.500	0.000	User Specified
Pretension Chain 5	1	12.210	12.210			-5.900	2.400	0.500	0.000	User Specified
Pretension Chain 6	1	12.440	12.440			-2.400	5.900	0.500	0.000	User Specified

Pretension Chain 7	1	12.870	12.870			2.400	-5.900	0.500	0.000	User Specified
Pretension Chain 8	1	13.060	13.060			5.900	2.400	0.500	0.000	User Specified
Pretension Hawser 1	1	5.900	5.900			0.000	1.000	5.500	0.000	User Specified
Pretension Hawser 2	1	5.880	5.880			0.000	1.000	5.500	0.000	User Specified
Riser Pretension	2	3.680	7.360			0.000	0.000	0.000	0.000	Maximum
Tank 1 (Damaged)										
Tank 2	70%	78.969	55.278	77.043	53.930	-4.425	0.000	1.938	17.828	Maximum
Total Loadcase			454.625	77.043	53.930	-0.473	-0.340	2.581	17.828	
FS correction								0.039		
VCG fluid								2.620		

Draft Amidships m	4.261
Displacement t	454.7
Heel deg	-7.8
Draft at FP m	4.669
Draft at AP m	3.853
Draft at LCF m	4.223
Trim (+ve by stern) m	-0.816
WL Length m	12.553
Beam max extents on WL m	12.643
Wetted Area m^2	299.249
Waterpl. Area m^2	106.736
Prismatic coeff. (Cp)	0.640
Block coeff. (Cb)	0.537
Max Sect. area coeff. (Cm)	0.840

Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.673
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-0.443
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-0.590
KB m	2.154
KG fluid m	2.620
BMt m	3.050
BML m	2.350
GMt corrected m	2.578
GML m	1.878
KMt m	5.169
KML m	4.477
Immersion (TPc) tonne/cm	1.094
MTc tonne.m	0.682
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	20.455
Max deck inclination deg	8.5864
Trim angle (+ve by stern) deg	-3.7280

Key point	Type	Freeboard m
Margin Line (freeboard pos = 2.55 m)		0.162
Deck Edge (freeboard pos = 2.55 m)		0.237

b. Stability Calculation - SPM OCTA 03

Stability 20.00.02.31, build: 31

Model file: D:\KULIAH\S 2\Semester III\Thesis\Perhitungan\RUN MAXSURF\ SPM OCTA 03 (Medium precision, 210 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: MS; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.‰: 0.01000(0.100); Trim‰(LCG-TCG): 0.01000(0.100); Heel‰(LCG-TCG): 0.01000(0.100)

Loadcase - 2 Damage Condition**Damage Case – D. Case 1**

Free to Trim

Specific gravity = 1.025; (Density = 1.025 tonne/m³)

Compartments Damaged -

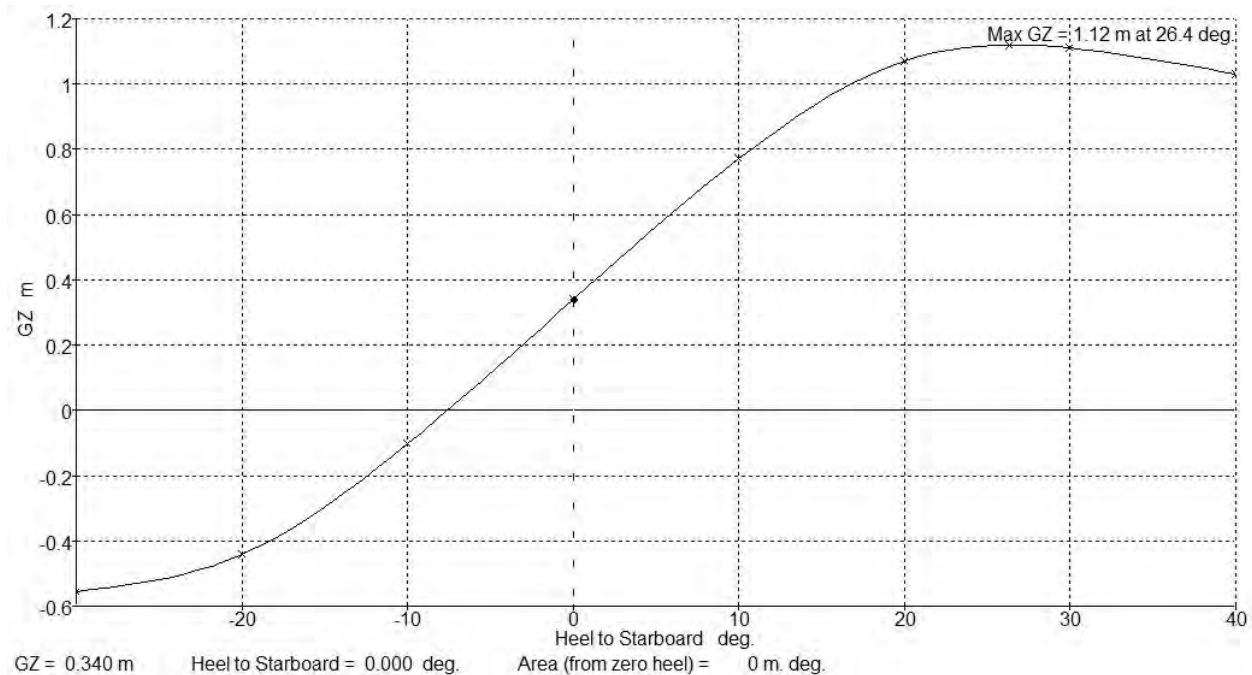
Compartment or Tank Status Perm.‰ PartFlood.‰ PartFlood.WL

Tank 1 Fully flooded 95

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Qty.	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volume (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM Type
Hull & Skirt Elemen	1	207.429	207.429			0.000	0.000	2.420	0.000	Maximum
Deck House	1	3.881	3.881			0.000	0.000	8.990	0.000	Maximum
Platform & Pipe	1	67.364	67.364			0.260	-0.220	6.090	0.000	Maximum
Railing	1	0.373	0.373			0.000	1.280	9.940	0.000	Maximum
Pretension Chain 1	1	13.060	13.060			5.900	-2.400	0.500	0.000	User Specified
Pretension Chain 2	1	12.870	12.870			2.400	-5.900	0.500	0.000	User Specified
Pretension Chain 3	1	12.440	12.440			-2.400	-5.900	0.500	0.000	User Specified
Pretension Chain 4	1	12.210	12.210			-5.900	-2.400	0.500	0.000	User Specified
Pretension Chain 5	1	12.210	12.210			-5.900	2.400	0.500	0.000	User Specified
Pretension Chain 6	1	12.440	12.440			-2.400	5.900	0.500	0.000	User

[illegible]



Heel to Starboard deg	-30.0	-20.0	-10.0	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0
GZ m	-0.555	-0.442	-0.102	0.340	0.771	1.071	1.110	1.030
Area under GZ curve from zero heel m.rad	0.1193	0.0300	-0.0203	0.0000	0.0978	0.2617	0.4552	0.6427
Displacement t	454.6	454.6	454.6	454.6	454.6	454.6	454.6	454.7
Draft at FP m	6.187	5.030	4.671	4.677	4.701	5.192	6.822	10.002
Draft at AP m	3.638	3.780	3.851	3.846	3.826	3.666	3.210	2.286
WL Length m	12.720	12.582	12.553	12.555	12.557	12.609	12.912	12.078
Beam max extents on WL m	10.157	11.217	12.720	12.527	12.720	11.240	10.217	9.739
Wetted Area m ²	340.888	319.693	299.247	299.264	299.385	321.280	343.602	352.362
Waterpl. Area m ²	77.668	87.402	107.376	105.776	107.368	87.049	79.331	73.384
Prismatic coeff. (Cp)	0.612	0.637	0.640	0.639	0.638	0.628	0.582	0.580

Block coeff. (Cb)	0.446	0.485	0.513	0.607	0.511	0.479	0.428	0.420
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-0.367	-0.424	-0.442	-0.440	-0.432	-0.387	-0.243	0.007
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-1.229	-1.107	-0.592	-0.589	-0.593	-1.157	-1.332	-2.008
Max deck inclination deg	31.4736	20.6768	10.6524	3.7944	10.7377	20.9975	32.8355	46.1470
Trim angle (+ve by stern) deg	-11.5029	-5.6996	-3.7461	-3.7944	-3.9917	-6.9452	-16.0826	-31.6280

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = 2.55 m)		9.1	n/a
Deck Edge (immersion pos = 2.55 m)		9.8	n/a

DAFTAR PUSTAKA

- ABS. (2003). *Guidance Notes on Review And Approval Of Novel Concepts*. Houston, USA: American Bureau of Shipping.
- ABS. (2014). *Rules For Building and Classing Single Point Moorings*. Houston: American Bureau of Shipping.
- API-RP-2SK. (1996). *Recommended Practice for Design and Analysis of Station Keeping System for Floating Structures*. Washington DC.
- DNV-RP-A203. (2011). *Qualification of New Technology*. Høvik, Norway: Det Norske Veritas.
- IMCA. (2002). *Guidance on Failure Modes & Effects Analyses (FMEAs)*. London: The International Marine Contractors Association.
- Kusumawardhani, H. T. (2011). *Analisa Risiko Pada Mooring Line SPM (Single Point Mooring) Akibat Beban Kelelahan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- LR. (2014). *Guidance Notes for Technology Qualification*. London: Lloyd's Register Group Limited.
- Maari, R. (1995). *Single Point Moorings*. London: an SBM INC. Publication.
- OGP. (2014). Reliability of offshore structures-Current design and potential inconsistencies. *OGP Report No. 486* (hal. 52). London: International Association of Oil and Gas Producers.
- Saad A. C., d. (2009). Motion Behavior of The Mono-Coloumn FPSO Sevan Piranema in Brazilian Waters. *OTC 20139* (hal. 8). Texas: Offshore Technology Conference.
- Suryana, I. P. (2015). *Analisa Teknis Dan Ekonomis Floating Terminal Untuk Crude Oil Di Tuban*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- (2014, November 18). Diambil kembali dari Kompas.com: <http://bisniskeuangan.kompas.com/read/2014/11/18/090911826/Benarkah.Indonesia.Kaya.Minyak>.

BIODATA PENULIS



Danu Utama, lahir di Cirebon, 8 Oktober 1990. Masa sekolah dihabiskan dengan berpindah-pindah. Pada tahun 2002 menyelesaikan Sekolah Dasar di pedalaman Kalimantan Barat, SD Negeri 41 Sukaraja, Kec. Marau, Kab. Ketapang. Kemudian melanjutkan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Simo, Kab. Boyolali. Pada tahun 2005 Danu kembali ke Kalimantan Barat untuk melanjutkan Sekolah menengah Atas di SMA Negeri 3 Ketapang.

Mewujudkan impian dengan melanjutkan pendidikan di bangku kuliah, penulis memutuskan untuk memilih Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Ketertarikan terhadap bidang kemaritiman membuatnya memilih Jurusan Teknik Perkapanan. Penulis menyelesaikan jenjang Strata 1 dalam waktu 5 tahun dengan indeks prestasi (IP) 3.09 pada tahun 2013. Tugas Akhir dengan judul “Perancangan *Integrated Tug-Barge* (ITB) pengangkut CNG (*Compressed Natural Gas*) yang sesuai untuk perairan Sembakung-Nunukan” mengantarkan penulis mendapatkan gelar sarjananya.

Pengalaman kerja di bidang perkapalan didapatkan saat bekerja di PT. Adiluhung Saranasegara Indonesia, Bangkalan, Madura. Cukup banyak ilmu penerapan yang didapatkan selama 18 Bulan bekerja. Proses pembangunan kapal baru dan juga reparasi menjadi bidang utama yang digeluti.

Pada tahun 2014 Danu memutuskan untuk melanjutkan pendidikan Strata-2 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan mengambil bidang keahlian Teknik Produksi dan Material Kelautan. Laporan tesis dengan judul “Prosedur pengkajian teknologi baru dalam pembangunan SPM (*Single Point Mooring*) menggunakan *Technology Qualification*” diselesaikan sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Master di bidang Teknik.

Phone: 085391988718; Email: danuutama65@gmail.com